

**LETÍCIA SOTO DA COSTA**

**BIOACUMULAÇÃO DE METAIS PESADOS EM PEQUENOS MAMÍFEROS EM ÁREAS  
DE REMANESCENTES DE MATA ATLÂNTICA E MONOCULTURA DE CANA-DE-  
AÇÚCAR NA PARAÍBA, BRASIL**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA – CCEN  
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

João Pessoa, PB

2020

**LETÍCIA SOTO DA COSTA**

**BIOACUMULAÇÃO DE METAIS PESADOS EM PEQUENOS MAMÍFEROS EM ÁREAS  
DE REMANESCENTES DE MATA ATLÂNTICA E MONOCULTURA DE CANA-DE-  
AÇÚCAR NA PARAÍBA, BRASIL**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Biológicas (Trabalho Acadêmico de conclusão de Curso) da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Pedro Cordeiro Estrela de Andrade  
Pinto

João Pessoa, PB

2020

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

C837b Costa, Letícia Soto da.

Bioacumulação de metais pesados em pequenos mamíferos em áreas de remanescentes de mata atlântica e monocultura de cana-de-açúcar na Paraíba, Brasil / Letícia Soto da Costa. - João Pessoa, 2020.  
69 f. : il.

Orientação: Pedro Cordeiro Estrela de Andrade Pinto.  
Monografia (Graduação) - UFPB/CCEN.

1. Contaminação. 2. Agroecossistemas. 3. Roedores. 4. Marsupiais. 5. Agrotóxico. I. Pinto, Pedro Cordeiro Estrela de Andrade. II. Título.

UFPB/BC

**LETÍCIA SOTO DA COSTA**

**BIOACUMULAÇÃO DE METAIS PESADOS EM PEQUENOS MAMÍFEROS EM ÁREAS  
DE REMANESCENTES DE MATA ATLÂNTICA E MONOCULTURA DE CANA-DE-  
AÇÚCAR NA PARAÍBA, BRASIL**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação  
em Ciências Biológicas da Universidade Federal  
da Paraíba, como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Bacharel em Ciências  
Biológicas.

Orientador: Pedro Cordeiro Estrela de Andrade  
Pinto

Data: 07/02/2020

Resultado: APROVADA (Nota: 9)

**BANCA EXAMINADORA:**



---

Dr. Pedro Cordeiro Estrela de Andrade Pinto (DSE/UFPB)

Orientador



---

Dra. Mayara Guimarães Beltrão (PNPD/UFSCAR)



---

Dr. Patrício Adriano da Rocha (PPGCB/UFPB)

*Dedico a meus pais e irmão, que doaram parte de suas  
vidas para que eu pudesse atingir este objetivo.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço,

Ao meu orientador, o professor Dr. Pedro Cordeiro Estrela de Andrade Pinto, por ter me aceito como orientanda e também ter aceito embarcar comigo na pesquisa sobre contaminantes em pequenos mamíferos. Além disso, gostaria de agradecer por todo o incentivo, ensinamentos, conselhos, questionamentos, paciência e puxões de orelhas durante todo o tempo de estágio no Laboratório de Mamíferos da UFPB.

Especialmente aos meus pais, Alejandra e Luis, por tudo, tudo mesmo. Por sempre me apoiarem e aceitarem minhas escolhas, por me incentivarem e acreditarem sempre no meu potencial. Sem o apoio deles, não teria chegado até aqui. A meu irmão, Alejandro, pelo companheirismo, amizade e paciência. Aos nossos cachorros, Snoppy e Chopp, os quais sem a família não estaria completa, por serem a minha alegria e escape, nos momentos mais estressantes da graduação. Mas também a Thor, Belinha, Killer e Toby, que alegraram nossas vidas por tantos anos e fizeram parte também da minha trajetória acadêmica.

Ao pessoal do Laboratório de Mamíferos da UFPB (para os íntimos, MAME), que com o tempo se tornaram mais que companheiro de laboratório, por toda a ajuda e convívio diário.

Aos colegas e amigos que fiz durante a graduação, com quem dividi grandes momentos de alegrias, estresses, trabalhos, farras, conquistas e tantas outras coisas.

A Mayara Beltrão, por ter me confiado alguns de seus dados e bichinhos para que eu realizasse minha pesquisa, além de todo o apoio, amizade e aprendizado em todo o processo.

Ao laboratório de Análise de Tecido de Planta da UFPB – Campus II, coordenado pelo professor Adailson Pereira de Souza, por proporcionar a realização das análises químicas.

Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica.

A todos os professores do Curso de Ciências Biológicas pelos ensinamentos, conselhos e incentivos.

E a todos que ajudaram direta ou indiretamente, e possibilitaram a realização dessa monografia.

## RESUMO

A Mata Atlântica está dentre os ecossistemas tropicais, mais importantes em escala mundial, devido a sua alta diversidade biológica e alto grau de endemismo, porém este bioma veem sofrendo intensa devastação com o constante progresso da agricultura e da urbanização. As culturas de cana-de-açúcar ao redor de fragmentos de Mata Atlântica podem acarretar em impactos à biodiversidade devido ao uso de agrotóxicos que levam à contaminação do ambiente e dos seres humanos. A agricultura constitui uma fonte não pontual de poluição ao ambiente, principalmente por contaminação por metais pesados, através das descargas de impurezas provindas do uso de fertilizantes fosfatados, pesticidas e fungicidas. Os mamíferos são conhecidos como importantes bioindicadores de qualidade ambiental, pois fornecem um alerta de efeitos adversos tóxicos nos ecossistemas inteiros. Com isso, os objetivos deste trabalho foram avaliar 1) se existe diferença na bioacumulação de metais em pequenos mamíferos em remanescentes de Mata Atlântica e monoculturas de cana-de-açúcar adjacentes no litoral norte da Paraíba 2) se existe diferença em relação a outros fatores como à condição corporal dos animais, ao sexo, entre as três áreas de amostragem 3) se existe diferenças em relação à bioacumulação em animais florestais em relação à distância da borda da mata com a cana-de-açúcar. A área de estudo corresponde a três remanescentes de Mata Atlântica e monocultura de cana-de-açúcar no estado da Paraíba. Foram capturados 31 pequenos mamíferos na cana-de-açúcar, e 44 em remanescentes florestais. As espécies estudadas foram *Didelphis albiventris*, *Marmosa murina*, *Marmosa demerarae*, *Monodelphis domestica*, *Akodon cursor*, *Mus musculus*, *Calomys callosus* e *Necomys lasiurus*. Foram estimadas, em amostras de fígado e rim, as concentrações de Chumbo (Pb), Níquel (Ni), Cromo (Cr) e Cádmio (Cd) por Espectrômetro de Absorção Atômica. Para as análises estatísticas foram feitos testes de Análise de Variância - ANOVA, Análise de Componentes Principais – PCA e regressões lineares. Houve bioacumulação tanto em pequenos mamíferos encontrados na cana-de-açúcar quanto nos remanescentes florestais. Uma maior bioacumulação de metais pesados em pequenos mamíferos coletado nas áreas de monocultura de cana-de-açúcar, possivelmente devido ao uso de agrotóxicos (pesticidas e fertilizantes) nas plantações. Os roedores provenientes das plantações de cana-de-açúcar apresentaram uma maior bioacumulação de metais pesados em relação aos marsupiais, devido possivelmente ao fato destes animais se encontrarem quase que predominantemente ocupando estas áreas. Em relação a bioacumulação nos tecidos, o fígado foi o que apresentou as maiores bioacumulações, sendo chumbo o metal com maior quantidade no tecido. Em relação às espécies estudadas, *Didelphis albiventris*, o gambá-de-orelha-branca, e *Mus musculus*, o camundongo, apresentaram uma maior bioacumulação de metais pesados em comparação com as outras espécies. O acúmulo de metais pesados ocorreu de forma independente da distância (máx.

1,5km da borda) que se encontram da borda cana/mata e do sexo. O mecanismo de bioacumulação de animais residentes na mata deve ser investigado. Houve duas vias de acumulação de metais pesados em roedores e marsupiais: a acumulação de forma conjunta para os metais cádmio e níquel e outra independente para cromo e chumbo. Para as espécies *Didelphis albiventris* e *Mus musculus*, que a acumulação de metais pesados ocorria por ambas as vias, e para as demais espécies, apenas por uma via de contaminação.

Palavras-chave: Contaminação, Agroecossistemas, Roedores, Marsupiais, Agrotóxicos.



## ABSTRACT

The Atlantic Forest is among the most important tropical ecosystems on a world scale, due to its high biological diversity and high degree of endemism, however this biome has been suffering intense devastation with the intense progress of agriculture. The increase in sugarcane crops around fragments of the Atlantic Forest can cause impacts due to the use of pesticides that lead to environmental contamination and the human being. Agriculture is a non-point source of pollution to the environment, mainly contamination by heavy metals, through the discharge of impurities from the use of phosphate fertilizers, pesticides and fungicides. Mammals are known as important bioindicators of environmental quality, as they provide an alert for adverse effects on ecosystems. Thus, the objectives of this work were to evaluate 1) if there is a difference in the bioaccumulation of metals in small mammals in of areas of Atlantic Forest remnants and sugarcane monoculture on the north coast of Paraíba, 2) if there is a difference in relation to other factors as to the body condition of the animals, to sex, between the three sampling areas, 3) if there are differences in relation to bioaccumulation in forest animals in relation to the distance from the edge of the forest to sugarcane. The study area corresponds to remnants of the Atlantic Forest and sugarcane monoculture in the state of Paraíba. Thirty-one small mammals were captured in sugarcane and 44 in forest remnants. The species studied were *Didelphis albiventris*, *Marmosa murina*, *Marmosa demerarae*, *Monodelphis domestica*, *Akodon cursor*, *Mus musculus*, *Calomys callosus* and *Necomys lasiurus*. Liver and kidney samples were removed. Lead (Pb), Nickel (Ni), Chrome (Cr) and Cadmium (Cd) were analyzed by Atomic Absorption Spectrometer. Analysis of Variance – ANOVA, Principal Component Analysis – PCA and linear regressions were performed for the statistical analysis. We detected bioaccumulation of heavy metals in small mammals found in sugarcane fields as well as in forest remnants. The results show that there was a higher bioaccumulation of metals in small sugarcane mammals, possibly due to the use of agrochemicals (pesticides and fertilizers) in the plantations. Rodents from sugar cane plantations showed a higher bioaccumulation of metals in relation to marsupials, due to the fact that they found almost predominantly in these areas. In relation to the bioaccumulation in the tissues, the liver presented the highest bioaccumulations, with lead being the metal with the largest amount in the tissue. In relation to the studied species, *Didelphis albiventris*, the white eared opossum, and *Mus musculus*, the house mouse, presented a greater bioaccumulation of heavy metals in comparison with the other species. The accumulation of heavy metals occurred independently of the distance from the sugarcane (max 1.5 km) and to the sex. The mechanism of bioaccumulation of small mammals resident in the forest remnants should be investigated. There were two pathways for the accumulation of heavy metals in rodents and marsupials: accumulation together for cadmium and

nickel metals, as well as for chromium and lead. For the species *Didelphis albiventris* and *Mus musculus*, the accumulation of heavy metals occurred by both routes, and for the other species, only by one route of contamination.

Keywords: Contamination. Agroecosystems. Mammals. Pesticides.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Localização dos fragmentos florestais e cana-de-açúcar amostrados na Paraíba. Ponta A corresponde à Reserva Biológica (REBIO) Guaribas, Ponto B corresponde à Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fazenda Pacatuba e Ponto C corresponde à Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Engenho Gargaú. ....	<b>26</b>
<b>FIGURA 2.</b> Boxplot da concentração de Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Níquel (Ni) e Cádmio (Cd) ( $\mu\text{g/g}^{-1}$ ) em marsupiais e roedores. (Cr: $p = 0.109$ ; Ni = 0.00367; Cd = $6.35\text{e-}11$ ; Pb = $5.82\text{e-}06$ ). Linhas pontilhadas a cada 50 unidades para Pb, Cr, Cd, e a cada 10 unidades para Ni.....	<b>33</b>
<b>FIGURA 3.</b> PCA das concentrações de Cr, Ni, Pb e Cd ( $\mu\text{g/g}^{-1}$ ), evidenciando duas rotas de contaminação. ....	<b>45</b>
<b>FIGURA 4.</b> PCA das concentrações de Cr, Ni, Pb e Cd ( $\mu\text{g/g}^{-1}$ ) por ordem, espécie, habitat, localidade, tecido e sexo.....	<b>47</b>
<b>FIGURA 5.</b> Concentração de Pb, Cr, Cd e Ni ( $\mu\text{g/g}^{-1}$ ) em decorrência da distância da borda da cana/mata em <i>Mus musculus</i> . (Pb = 0.909; Cr = 0.606; Cd = 0.842, Ni = 0.42). ....	<b>51</b>
<b>FIGURA 6.</b> Concentração de Pb, Cr, Cd e Ni ( $\mu\text{g/g}^{-1}$ ) em decorrência da distância da borda da cana/mata em <i>Didelphis albiventris</i> . (Pb = 0.662; Cr = 0.529; Cd = 0.235, Ni = 0.694). ....	<b>52</b>
<b>FIGURA 7.</b> Concentração de Pb, Cr, Cd e Ni ( $\mu\text{g/g}^{-1}$ ) em decorrência da distância da borda da cana/mata em <i>Marmosa murina</i> . (Pb = 0.0689; Cr = 0.594; Cd = 0.454, Ni = 0.61). ....	<b>53</b>

## LISTA DE TABELAS

**TABELA 1.** Número de indivíduos machos e fêmeas capturados em áreas de remanescentes de Mata Atlântica e monocultura de cana-de-açúcar da Paraíba, Brasil.

..... 29

**TABELA 2.** Parâmetros morfológicos de três espécies de pequenos mamíferos com tamanho da amostra  $> 3$  (*Mus musculus*, *Marmosa murina* e *Didelphis albiventris*) das áreas de remanescentes de Mata Atlântica e monocultura de cana-de-açúcar no Nordeste da Paraíba, Brasil. Os valores são representados como  $x \pm DP$  (mín. - máx.). BW = Peso corporal (g), BL = Comprimento corporal (mm) e IR = Índice Residual Relativo, sendo  $x$  = média, DP = desvio padrão, mín. = valor mínimo e máx. = valor máximo. .... 31

**TABELA 3.** ANOVA de concentrações de metais pesados nas espécies de pequenos mamíferos (Cd = cádmio; Ni = níquel; Cr = cromo; Pb = chumbo). .... 35

**TABELA 4.** Concentrações de metais pesados ( $\mu\text{g/g}^{-1}$ ) em três espécies de pequenos mamíferos com tamanho da amostra  $> 3$  (*Mus musculus*, *Marmosa murina* e *Didelphis albiventris*) das áreas de remanescentes de Mata Atlântica e monocultura de cana-de-açúcar no Nordeste da Paraíba, Brasil. Os valores são representados como  $x \pm DP$  (mín. - máx.), sendo  $x$  = média, DP = desvio padrão, mín. = valor mínimo e máx. = valor máximo.

..... 40

**TABELA 5.** Concentrações de metais pesados ( $\mu\text{g/g}^{-1}$ ) nos tecidos de machos e fêmeas em três espécies de pequenos mamíferos com tamanho da amostra  $> 3$  (*Mus musculus*, *Marmosa murina* e *Didelphis albiventris*) das áreas de remanescentes de Mata Atlântica e monocultura de cana-de-açúcar no Nordeste da Paraíba, Brasil. Os valores são representados como  $x \pm DP$  (mín. - máx.), sendo  $x$  = média, DP = desvio padrão, mín. = valor mínimo e máx. = valor máximo.

..... 41

**TABELA 6.** ANOVA: Concentração de metais pesados decorrente do sexo em *Mus musculus* (Cd = cádmio; Ni = níquel; Cr = cromo; Pb = chumbo).

..... 43

**TABELA 7.** ANOVA: Concentração de metais pesados decorrente do sexo em *Didelphis albiventris* (Cd = cádmio; Ni = níquel; Cr = cromo; Pb = chumbo).

..... 43

**TABELA 8.** Testes de Correlação de Pearson significativos entre os metais pesados (Cd = cádmio; Ni = níquel; Cr = cromo; Pb = chumbo).

..... 46

**TABELA 9.** Testes de Correlação de Pearson significativos entre os metais pesados nos fígados e rins para *Didelphis albiventris* e *Mus musculus*. (Cd = cádmio; Ni = níquel; Cr = cromo; Pb = chumbo).

..... 48

**TABELA 10.** ANOVA de concentrações de metais pesados em diferentes distâncias da borda (5, 100, 110, 160, 200, 220, 270, 300, 400, 900, 1000, 1100 m) em três espécies de pequenos mamíferos com tamanho amostral > 3 (*Mus musculus*, *Marmosa murina* e *Didelphis albiventris*). (Cd = cádmio; Ni = níquel; Cr = cromo; Pb = chumbo).

..... 49

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>12</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
1.1.1 METAIS PESADOS	17
1.1.1.1 CÁDMIO	18
1.1.1.2 NÍQUEL	19
1.1.1.3 CHUMBO	20
1.1.1.4 CROMO	21
1.1.2 PEQUENOS MAMÍFEROS	22
1.1.3 PEQUENOS MAMÍFEROS: BIOINDICADORES DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL	23
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>24</b>
2.1 OBJETIVO GERAL	24
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
<b>3. MATÉRIAS E MÉTODOS</b>	<b>24</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO	25
3.2 AMOSTRAGEM DE PEQUENOS MAMÍFEROS	26
3.3 COLETA DO MATERIAL BIOLÓGICO	27
3.4 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS	27
3.5 ANÁLISES QUÍMICAS	27
3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	28
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>28</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>54</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b>	<b>56</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica está dentre os ecossistemas tropicais, mais importantes em escala mundial, devido a sua alta diversidade biológica e alto grau de endemismo (Joly *et al.*, 2014), porém este bioma veem sofrendo intensa devastação com o intenso progresso da agricultura. Este avanço acarreta em graves impactos na paisagem, devido ao processo de fragmentação e isolamento de remanescentes florestais (Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, 2017), perda da diversidade biológica (Fahrig, 2003), habitat e riqueza de espécies (Vieira *et al.*, 2009).

Este ecossistema é habitat para uma serie de organismos, dos quais, uma grande parte são endêmicos ou encontram-se em risco de extinção. A Mata Atlântica é um dos biomas brasileiros mais ameaçados do mundo, restando atualmente, apenas cerca de 11,73% de cobertura original (Ribeiro *et al.*, 2009).

A Mata Atlântica da região Nordeste no Brasil abrange cerca de 4.062,64 km<sup>2</sup> (Barreto *et al.*, 2013) de formação vegetacional de floresta ombrófila densa, floresta ombrófila aberta, floresta estacional semidecidual, áreas de formação pioneiras de manguezais e vegetação de restinga, além de áreas de tensão ecológica. Esse ecossistema consiste numa região geoeconômica que se estende do Rio Grande do Norte até o sul da Bahia (Barreto, 2013).

A região de Mata Atlântica localizada ao norte do Rio São Francisco, é conhecida como Centro de Endemismo Pernambuco (CEP), englobando os estados de Alagoas até o Rio Grande do Norte. A região do CEP concentra elevados números de espécies endêmicas de fauna e flora (Santos, 2006), e atualmente restam apenas de 2% de floresta, distribuída em pequenos fragmentos (Silva e Tabarelli, 2001, Tabarelli *et al.*, 2006), sendo a maioria com menos de 50 hectares, isolados entre si e não são mais autossuficientes na sua manutenção (Barreto, 2013), na qual encontra-se em uma área composta por matriz de cana-de-açúcar no seu entorno (Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, 2017). O CEP possui relevo pouco elevado e é cortada por inúmeros rios de pequeno porte, sendo a maior parte deles intermitentes. Além disso, possui alto grau de umidade relativa do ar (70-85 %), recebendo até 4000 mm de chuvas ao ano. Os solos mais comuns são do tipo podzolicos, latossolos ou arenosos, com fertilidade média a baixa (Barreto, 2013).

A implantação de monoculturas na Mata Atlântica Nordestina é antiga, datando os anos de 1570, intensificando na época colonial, quando houve as instalações de inúmeros centros urbanos e engenhos por toda a região. A cana-de-açúcar (*Saccharum*, Poaceae) é uma gramínea, originaria da Ásia, mas atualmente, cultivada em todos os estados brasileiros (Domingues, 2010). É uma planta semi-perene, a qual exige calor e umidade durante seu ciclo vegetativo, com temperatura ideal para seu desenvolvimento entre 30 – 45 °C. A cana-de-açúcar possui altas taxas de fotossínteses e alta

eficiência na captação de CO<sub>2</sub>, caracterizando assim as plantações como benéficas na redução de gases de efeito estufa (Domingues, 2010).

A agricultura constitui uma fonte não pontual de poluição ao ambiente, principalmente contaminação por metais pesados (Alloway e Ayres, 1997), através das descargas de impurezas provindas do uso de fertilizantes fosfatados, pesticidas e fungicidas. O uso frequente e incorreto dos agrotóxicos, na maioria das vezes, podem oferecer ameaças de contaminação de águas superficiais e subterrâneas (Spadotto *et al.*, 2010), do solo, dos animais e do próprio ser humano, ou seja, contaminação do ambiente em geral decorrente da utilização intensiva e acúmulo de compostos com alto grau de toxicidade e persistência (Henn, 2009).

Metais pesados são elementos com peso específico superior a 5 g/cm<sup>3</sup>, englobando os metais, semimetals e não metais como selênio e arsênio. Estes compostos são altamente reativos e conservativos, assim quando lançados no meio ambiente, através de fontes antropogênicas como fertilizantes, pesticidas, água de irrigação e queima de biomassa em zona rural, combustão de carvão e óleo, emissões veiculares, incineração de resíduos urbanos e industriais e efluentes domésticos e industriais (Queiroz, 2006), tornam-se altamente persistentes, podendo ser incorporado na cadeia alimentar através do processo de biomagnificação, acarretando em stress para os ecossistemas naturais e humanizados, uma vez que os metais pesados acumulam-se nos organismos vivos e podem ocasionar em morte por contaminação e perda da biodiversidade (Laneiro, 2012).

O processo de bioacumulação de metais pesados nos organismos vivos, ocasiona em graves problemas para a fisiologia dos mesmos, mas também pode desencadear um processo denominado de biomagnificação. A biomagnificação consiste na transferência de metais pesados para ao menos dois níveis tróficos em uma teia alimentar (Barwick e Maher, 2003, Santana *et al.*, 2017). Isto ocorre quando os metais acumulam-se em um organismo, e assim pode ser transferido ao longo das cadeias tróficas. Em geral, os produtores primários absorvem os metais pesados provenientes do ambiente, os quais acumulam-se em seus tecidos. Desta forma, os metais são transferidos para os consumidores primários por meio da ingestão dos produtores primários. Os consumidores primários, além de acumular através da dieta, podem absorver os metais pesados do meio ambiente, por meio de inalação ou contato. Os predadores ao ingerirem as presas contaminadas, acumulam metais pesados em seus corpos. Assim, quando não há eliminação dos metais pesados, estes continuam a acumular-se progressivamente ao longo das redes tróficas (Wang, 2002, Gray, 2002).

Os mamíferos, de maneira geral, configuram um dos organismos mais importantes para o planeta, devido a sua ampla distribuição geográfica, ampla gama de habitats ocupados por eles (Carvalho Neto, 2013), grandes variações de tamanho, assim como diferenciadas, e diversas



posições ocupadas nas redes tróficas. Estes animais são considerados importantes bioindicadores de qualidade ambiental, pois uma parte das espécies conseguem ser biomonitores precisos e sensíveis quanto ao risco de exposição a contaminantes e alterações no habitat (Banks-Leite *et al.*, 2014), uma vez que possuem inúmeras espécies próximas ou no topo das cadeias alimentares (Cruz e Campello, 1998), porém outra parte consegue conviver em ambientes poluídos, contaminados e degradados, mas pouco se sabe os efeitos disso sobre a fauna. Assim é importante para a conservação da vida silvestre, conhecer o impacto de diferentes atividades humanas em populações naturais de plantas e animais em geral, e em pequenos mamíferos em particular, através do biomonitoramento dos metais pesados.

## 1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 1.1.1 METAIS PESADOS

O termo metal pesado é usado para designar metais e semimetais que possuem a capacidade de contaminação e potencial de toxicidade e ecotoxicidade do meio ambiente (Duffus, 2002). Estes estão presentes naturalmente no ambiente (Pereira *et al.*, 2006), através de processos de intemperismo e atividades vulcânicas, podendo também ser provenientes de ações antropogênicas (Phillips, 1977), como descargas de efluentes industriais e domésticos, atividades de mineração e fundição, precipitações atmosféricas (Novotny, 1995), combustão de combustíveis fosseis, incineração de resíduos e insumos utilizados na agricultura, como pesticidas, inseticidas, herbicidas e fertilizantes (Oliveira *et al.*, 2009). Segundo Nriagu (1990), ocorre a emissão de cerca de 12.000 toneladas/ano de chumbo (Pb), 45.000 toneladas/ano de zinco (Zn), 1400 toneladas/ano de cádmio (Cd), 28.000 toneladas/ano de cobre (Cu) e 29.000 toneladas/ano de níquel (Ni) no mundo, advindos de fontes naturais de metais pesados.

Os metais podem ser classificados em metais essenciais, que são aqueles que participam de processos metabólicos que regulam a produção de energia e o bom funcionamento do organismo, sendo estes fatores limitantes para o desenvolvimento e crescimento dos organismos, os quais podem ser tóxicos em elevadas concentrações ou quando se encontram carentes no organismo (Nordberg *et al.*, 2007, Homady *et al.*, 2002); e em metais não essenciais, que são aquelas não requeridos pelos organismos, sendo considerados tóxicos mesmo em baixas concentrações (Ramm, 2015). Dentre os metais essenciais, podemos citar o ferro, o manganês, o zinco, o cobre, o cromo, o cobalto, o níquel e o molibdênio, entre outros; e dentre os não essenciais, o alumínio, o chumbo, o cádmio, o níquel, o mercúrio, a prata, entre outros. Cádmio e Chumbo são metais muito tóxicos em

concentrações baixas quando comparados com metais como ferro, zinco, manganês, níquel, cobre e cobalto, que em geral compõem a estrutura dos seres vivos (Rashed e Soltam, 2005). Desta forma, os metais distintamente de outros contaminantes, não devem ser totalmente eliminados do ambiente, uma vez que são naturais da crosta terrestre e também devido ao fato de serem importantes para o metabolismo dos organismos, atuando como co-fatores para a ativação de inúmeros zimogênios (Ikeda *et al.*, 2000).

Os metais pesados tornam-se elementos tóxicos quando não são metabolizados pelo organismo e acumulam-se nos tecidos moles, já que os seres vivos são incapazes de excretá-los de forma eficaz, ocasionando numa bioacumulação destes. Os metais pesados podem incorporar-se nos organismos através da alimentação, ingestão de água, inalação ou absorção através da pele quando entram em contato com insumos agrícolas, industriais, farmacêuticos ou residenciais. Por meio dessa incapacidade dos seres vivos, os metais se disseminam em larga escala no ambiente, ocasionando uma circulação destes em diferentes níveis tróficos (Marcheselli *et al.*, 2010), sendo o percurso dentro da cadeia alimentar, uma rota crescente de acumulação nos tecidos dos organismos. Esses metais acumulam na cadeia alimentar através da absorção no nível do produtor primário e, em seguida, através do consumo destes pelos consumidores primários, seguindo assim a rota alimentar.

Os metais pesados quando presentes no corpo dos organismos, podem exercer influência no comportamento destes, devido a danos causados na função mental e neurológica, acarretando em inúmeras alterações nos processos metabólicos do corpo, como a produção e utilização de neurotransmissores. Os principais sistemas afetados pelo acúmulo elevado de metais pesados nos organismos são: sangue e vias cardiovasculares, cólon, fígado, rins, sistema endócrino, vias de produção de energia enzimática, sistema gastrointestinal, sistema imune, sistema nervoso, sistema reprodutor e urinário.

Desta forma, os metais pesados são considerados poluentes altamente persistentes no ambiente, já que não podem ser degradados facilmente, acumulam-se ao longo da cadeia alimentar, ocasionando graves danos ecológicos e de saúde ao ecossistema (Malik, 2004).

#### **1.1.1.1 CÁDMIO**

Cádmio (Cd) é considerado um dos metais pesados mais perigosos, assim como o mercúrio, já que são reportado inúmeros casos de envenenamento de humanos e animais, devido a ingestão de alimentos contaminados por este metal. Encontra-se presente na crosta terrestre à uma concentração média de 0,1 mg/Kg (Ramm, 2015), sendo considerado um contaminante cumulativo (Waalkes, 2000), por possuir meia-vida de aproximadamente 10 anos.

O cádmio, por ser um metal não essencial extremamente tóxico para humanos e animais, não atua em nenhuma via metabólica dos organismos, e nas últimas décadas, é um dos metais que vem apresentando os mais elevados níveis de emissão para o meio ambiente (Nascimento e Pereira, 1997). A emissão de Cd ao ambiente ocorre por meio de fontes naturais, como atividades vulcânicas, e antropogênicas (Fleischer *et al.*, 1974), através de queimadas em florestas e atividades industriais. Estima-se que sejam emitidos 100 a 500 toneladas/ano de cádmio no meio ambiente em todo o mundo (Ramm, 2015). O cádmio encontra-se presente em inúmeros resíduos e desta forma, pode ser incorporado ao ambiente por meio de lixo urbano, fertilizantes fosfatados, restos de tintas, entre outros resíduos (Dias *et al.*, 2001).

A contaminação por cádmio pode ocorrer de forma direta ou indireta, já que não necessita residir ou trabalhar em áreas altamente poluídas para sofrer intoxicação. A exposição a este contaminante ocorre principalmente pela ingestão de alimentos e água contaminados, podendo também ser absorvido por meio da via respiratória, intestinal ou dérmica (Klaassen e Watkins, 1999, Klaassen, 2001, Rubio *et al.*, 2006, Reeves e Chaney, 2008). Cerca de 70% da contaminação ocorre por via oral, decorrente do uso de águas contaminadas para irrigação ou pelo próprio solo contaminado usado para agricultura (Prasad, 1995).

Independente da concentração de cádmio nos organismos, este se deposita no tecido renal e hepático, acarretando em lesões a estes órgãos, já que este metal interfere no metabolismo do fósforo e cálcio em decorrência da inibição da síntese de vitamina D, resultando em patologias ósseas (Klaassen, 2001, Simmons *et al.*, 2005). Além disso, segundo a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer e o Programa Nacional de Toxicologia, o cádmio é um metal qualificado altamente carcinogênico para humano e animais, sendo a exposição a este metal diretamente relacionado a câncer de pulmão e provavelmente a de próstata (Roman *et al.*, 2002).

### 1.1.1.2 NÍQUEL

O metal pesado níquel (Ni) é considerado um metal não essencial presente naturalmente no ambiente, através de erupções vulcânicas e poeira, ou proveniente de ações humanas, como mineração (Oliveira, 2003, ATSDR, 2005). O níquel é utilizado em inúmeros setores industriais, entre eles na metalúrgica, na fabricação de aço inoxidável e ligas de aço, assim como na siderúrgica (Silva, 2001). Na crosta terrestre, este metal apresenta uma concentração cerca de 0,0086% e em solos usados para agricultura, 3 a 1000 mg/Kg (Gunther, 1998).

Naturalmente, o níquel encontra-se associado a outros elementos, como enxofre e oxigênio, resultando na formação de minérios de sulfetos ou óxidos, os quais estão presentes em meteoritos e

solos oceânicos (Klein e Costa, 2007, ATSDR, 2005). Na atmosfera, o níquel encontra-se como poeira ou aerossóis (Oliveira, 2003, ATSDR, 2005). Em rios e lagos, este metal adere-se a partículas e também associado a matéria orgânica destes ambientes (Oliveira, 2003, Gunther, 1998). Geralmente, o níquel é encontrado no solo decorrente da deposição provinda de emissões devido ao refinamento deste metal, além da deposição de insumos (lodo) de fertilizantes (Kira, 2014).

A exposição a níquel pode ocorrer via inalação, ingestão ou percutânea, estando relacionada a solubilidade de seus compostos (Gunther, 1998). A contaminação por ingestão de níquel ocorre por meio do consumo de legumes e vegetais, principalmente alface, espinafre e castanhas, que são alimentos que normalmente apresentam elevadas concentrações deste elemento, além da ingestão de carne animal contaminada. Estima-se que sejam ingeridos cerca de 200 a 300 ug de níquel por dia (Rojas *et al.*, 1999, Oliveira, 2003). Animais selvagens possuem concentrações de níquel em muitos de seus órgãos e tecidos proveniente da sua dieta, porém inúmeros estudos afirmam que não há evidencias de bioacumulação deste metal por meio do processo de biomagnificação na cadeia alimentar (Who, 1991).

A contaminação dos organismos por níquel resulta em danos a todos os órgãos do corpo, já que este metal não apresenta um órgão específico de acumulação, porém em exposição a longo prazo, o pulmão é o órgão mais atingindo, sendo considerado o órgão principal de acumulação (Oliveira, 2003).

### 1.1.1.3 CHUMBO

Chumbo (Pb) é um metal pesado não essencial o qual, segundo a Organização Mundial da Saúde, é considerado como sendo um dos metais mais danosos a saúde animal e humana, já que não apresenta nenhuma função metabólica para os organismos.

Este metal é bastante abundante na crosta terrestre, podendo ser emitido ao meio ambiente por meio de processos naturais e antropogênicos. No ambiente, o transporte e deposição de chumbo dependem das fontes de emissão. Geralmente, este metal é encontrado no solo decorrente da deposição provinda da atmosfera, e normalmente acumula-se nas camadas superiores, dificilmente atingindo águas superficiais ou subterrâneas. Na atmosfera, o chumbo encontra-se na forma de partículas. Rios, lagos e oceanos podem também apresentar concentrações de chumbo provenientes de ações naturais ou humanas. Já em plantas, a presença de chumbo nos seus tecidos, se deve a processos de captação e incorporação deste elemento (Paoliello e De Capitani, 2003).

A contaminação por chumbo é vagarosa e gradativa, afetando diretamente o organismo quando exposto (Klaassen e Watkins, 1999, Klaassen, 2001). A exposição a este contaminante

ocorre principalmente através da absorção via sistema gastrointestinal e respiratório, resultando em distúrbios neurológicos, gastrointestinal e renais (Sadão, 2002, Who, 1995, ATSDAR, 2007), além de afetar o sistema hematopoiético, inibindo a síntese de hemoglobina. Exposição a concentrações muito elevadas de chumbo, pode resultar em morte. Cerca de 60% do chumbo que é absorvido pelos indivíduos permanece no organismo, sendo o restante eliminado pelas fezes, urina e bile.

A exposição dos organismos ao chumbo resulta em danos a todos os órgãos e sistemas do corpo, já que o chumbo apresenta capacidade de inibir ou imitar a ação do cálcio e de interagir com proteínas. Os ossos são os órgãos os quais apresentam as maiores concentrações de chumbo, quando o indivíduo encontra-se intoxicado por chumbo, entretanto o sistema nervoso é considerado o conjunto de órgãos mais sensível a este metal.

#### 1.1.1.4 CROMO

Diferentemente dos metais citados acima, o cromo (Cr) é um metal pesado essencial para o metabolismo de carboidratos e co-fator para a ação da insulina em mamíferos, porém em plantas não há conhecimento se ele atua como nutriente essencial, apesar de estar presente na maioria das plantas com concentrações de até 0,19 mg/Kg (Who, 1988). Em humanos, o cromo é considerado nutriente essencial quando presente no corpo em quantidades de 50 a 200 ug/Kg (Who, 1988), assim quando apresenta valores inferiores ou superiores, o cromo torna-se tóxico para o organismo.

O cromo está presente naturalmente no ambiente, proveniente de rochas ígneas máficas e ultramáficas, em baixas concentrações, não ultrapassando 0,1 ug/m<sup>3</sup> (Who, 1988), entretanto é liberado em quantidades expressivas no ar por meio de fontes industriais (Who, 1988). Quando presente no solo, o cromo encontra-se em concentrações baixas, de 2 a 60 mg/Kg, sendo a média mundial de cromo no solo de 68 ppm (Callender, 2004).

A exposição ao cromo ocorre principalmente por meio da ingestão de alimentos e água contaminados, no qual cerca de 0,5 a 3% do metal é absorvido pelo corpo, sendo quase completamente eliminado pela urina (Who, 1988), mas também pode ocorrer via inalação ou contato dérmico. Nos alimentos, a quantidade de cromo é relativamente baixa, desta forma estima-se a ingestão diária média humana de cromo seja cerca de 100 ug. Em condições normais de exposição ao cromo, humanos apresentam concentrações deste metal entre 20 a 30 ug/L no sangue.

Recentemente inúmeros estudos veem relacionado a exposição ao cromo e o desencadeamento de câncer no sistema respiratório (Norseth, 1981, Who, 1988), assegurando que o risco de desenvolver esta doença é devido a exposição a compostos levemente solúveis, ou seja, a exposição ao cromo na sua forma hexavalente, a qual acarreta ulceração crônica e perfuração do

septo nasal, já que este composto apresenta caráter corrosivo. Segundo alguns estudos realizados em fabricas de cromo na Inglaterra, revelam o risco de desenvolver câncer no pulmão decorrente da exposição a este metal (Bidstrup, 1951, Bidstrup e Case, 1956).

### 1.1.2 PEQUENOS MAMÍFEROS

Pequenos mamíferos é o termo usualmente usado para referir-se a mamíferos de pequeno porte, que apresentam peso inferior a 1 quilo na fase adulta. Incluem as ordens Chiroptera (morcegos), Didelphimorphia (marsupiais) e a maioria das espécies da ordem Rodentia (roedores) (Cadermatori *et al.*, 2008, Pereira e Geise, 2007).

Os pequenos mamíferos ocupam atualmente quase todos os habitats terrestres e representam cerca de 80% de toda a riqueza de mamíferos do Brasil, com aproximadamente 286 espécies descritas (Paglia *et al.*, 2012), sendo 124 espécies para a Mata Atlântica brasileira, com aproximadamente 94 espécies de roedores e 30 espécies de marsupiais (Bovendorp *et al.*, 2017). Estes animais possuem um importante papel na dinâmica dos ecossistemas, atuando na manutenção de populações de grandes predadores (Wang, 2002), além de agentes dispersores de sementes (Vieira e Izar, 1999, Pimentel e Tabarelli, 2004, Janos *et al.*, 1995, Brewer e Rejmanek, 1999, Grelle e Garcia 1999, Mangan e Adler 2000, Colgan e Claridge 2002), agentes polinizadores (Vieira *et al.*, 1991), predadores de sementes e plântulas (Pizo, 1997, Vieira *et al.*, 2003, Sánchez-Cordero e Martinez-Gallardo, 1998), e reservatórios de inúmeros parasitas.

A ordem Didelphimorphia compreende aos atuais marsupiais americanos vivos. É considerada uma das ordens mais diversas de mamíferos do Novo Mundo, apesar de possuir apenas uma única família, composta de 15 gêneros e 63 espécies (Gardner, 2008). Os marsupiais americanos apresentam distribuição desde a Patagônia até a América do Norte. Ocorrem nos mais diversos habitats, desde florestas austrais e habitats arbustivos, florestas de planície subtropicais e tropicais, cerrados e chacos, até regiões áridas do nordeste brasileiro (Caatinga) (Casella, 2006). A grande maioria dos marsupiais neotropicais são arborícolas, raramente descendo a nível do solo, ou escansoriais, vivendo tanto no estrato arbóreo quanto no solo, podendo ser terrestres ou semiaquáticos (Fonseca *et al.*, 1996, Astúa de Moraes, 1998).

Os marsupiais neotropicais de maneira geral, se caracterizam por apresentar um rosto longo, com dentes incisivos relativamente pequenos e não especializados, e caninos grandes, patas plantígradas e uma longa cauda preênsil, utilizada como um 5º membro em espécies de hábito arborícola. As fêmeas geralmente apresentam marsúpio, que consiste em uma bolsa abdominal onde estão localizadas as mamas, onde o filhote se adere assim que nasce.

Os marsupiais didelfídeos possuem hábitos noturnos e solitários (Cáceres, 2004), apenas apresentando interação com outros indivíduos no período de reprodução. São mamíferos de pequeno à médio porte, com peso geralmente variando de 10 gramas a 2 quilos. Didelfídeos apresentam uma variedade de nichos alimentares, sendo suas dietas baseadas principalmente em pequenos vertebrados, artrópodes e frutas. Além disso, estes animais apresentam um alto grau de carnivoría e/ou insetivoría até uma elevada taxa de frugivoría, possuindo assim espécies extremamente generalistas e onívoras (Astúa de Moraes, 2003).

A ordem Rodentia é a ordem de mamíferos mais diversa em relação ao número de espécies, com aproximadamente 2.052 espécies distribuídas em 468 gêneros e 29 famílias, representando 43% das espécies viventes de mamíferos do mundo. Os roedores encontram-se distribuídos em todo o mundo, exceto no continente antártico. Estes animais apresentam habito semiaquático, terrestres, arborícola e fossoriais (Bonvincino *et al.*, 2008). Suas dietas variam de completamente herbívora, granívora a insetívora, com poucos onívoros.

Os marsupiais e roedores de pequeno porte, juntos formam o grupo ecológico mais diversificado atualmente de mamíferos das florestas Neotropicais, com mais de 190 espécies atualmente reconhecidas no Brasil e cerca de 92 espécies na Mata Atlântica, sendo cerca de 43 espécies endêmicas deste bioma (Fonseca *et al.*, 1996). Ambos os grupos exibem influência na dinâmica das florestas neotropicais e são considerados bons indicadores de alterações ambientais (Pardini e Umetsu, 2006).

### **1.1.3 PEQUENOS MAMÍFEROS: BIOINDICADORES DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL**

Os mamíferos são conhecidos como indicadores convenientes de poluição (Brait *et al.*, 2009), refletindo fielmente a contaminação presente no ambiente. Estes animais fornecem um alerta dos efeitos adversos proveniente das elevados concentrações de contaminantes nos ecossistemas, por possuírem uma vida relativamente longa, sofrem com os efeitos ambientais durante um longo período de tempo.

Os pequenos mamíferos (roedores e marsupiais) têm sido usados com frequência como bioindicadores de poluição física e química (Sheffield *et al.*, 2001, Talmage e Walton, 1991), já que estes animais são considerados organismos biomonitores precisos e sensíveis ao risco de exposição a contaminantes (Marcheselli *et al.*, 2010), respondendo rápido às alterações no ambiente, constituindo assim um modelo ideal para avaliar a contaminação ambiental. A via de contaminação de pequenos mamíferos a poluentes/contaminantes pode ocorrer pela respiração e/ou ingestão de alimentos ou partículas do solo contaminados, além do contato direto com o ambiente.

Para os pequenos mamíferos serem utilizados como espécies biomonitoras, eles devem atender alguns critérios como: alta abundância na área; uma baixa taxa de migração e restrita a uma pequena área ou pequena área de residência, a fim de assegurar a detecção precisa de sua situação local; e uma alta expectativa de vida para investigar os possíveis efeitos a longo prazo da exposição a contaminantes (Komarnicki, 2000, Marcheselli *et al.*, 2010, Talmage e Walton, 1991). Ecossistemas terrestres que possuem populações de pequenos mamíferos apresentam-se geralmente contaminados por metais pesados potencialmente tóxicos provenientes de pesticidas agrícolas ou fertilizantes, ou da deposição nos solos de resíduos industriais ou militares, sendo geralmente absorvidos pelas plantas, e mais tarde encontrados em tecidos de animais, principalmente pequenos herbívoros, seus predadores e por consequência, em humanos.

Assim, é de extrema importância para a conservação da vida silvestre, conhecer impacto das atividades humanas em populações de plantas e animais, e em pequenos mamíferos em particular, através do biomonitoramento dos contaminantes.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar se existe diferença na bioacumulação de metais pesados em pequenos mamíferos (roedores e marsupiais) em remanescentes de Mata Atlântica e monocultura de cana-de-açúcar na Paraíba, Brasil.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- a) Avaliar se existe diferença na bioacumulação de metais pesados quanto ao grupo (Roedores x Marsupiais);
- b) Avaliar se existe diferença em relação a condição corporal e ao sexo entre as áreas e em relação a bioacumulação de metais pesados;
- c) Avaliar se indivíduos mais próximos a borda do fragmento apresentam bioacumulação (menor, maior, ou igual) que os encontrados no interior desta ou na cana-de-açúcar.

## **3. MATÉRIAS E MÉTODOS**

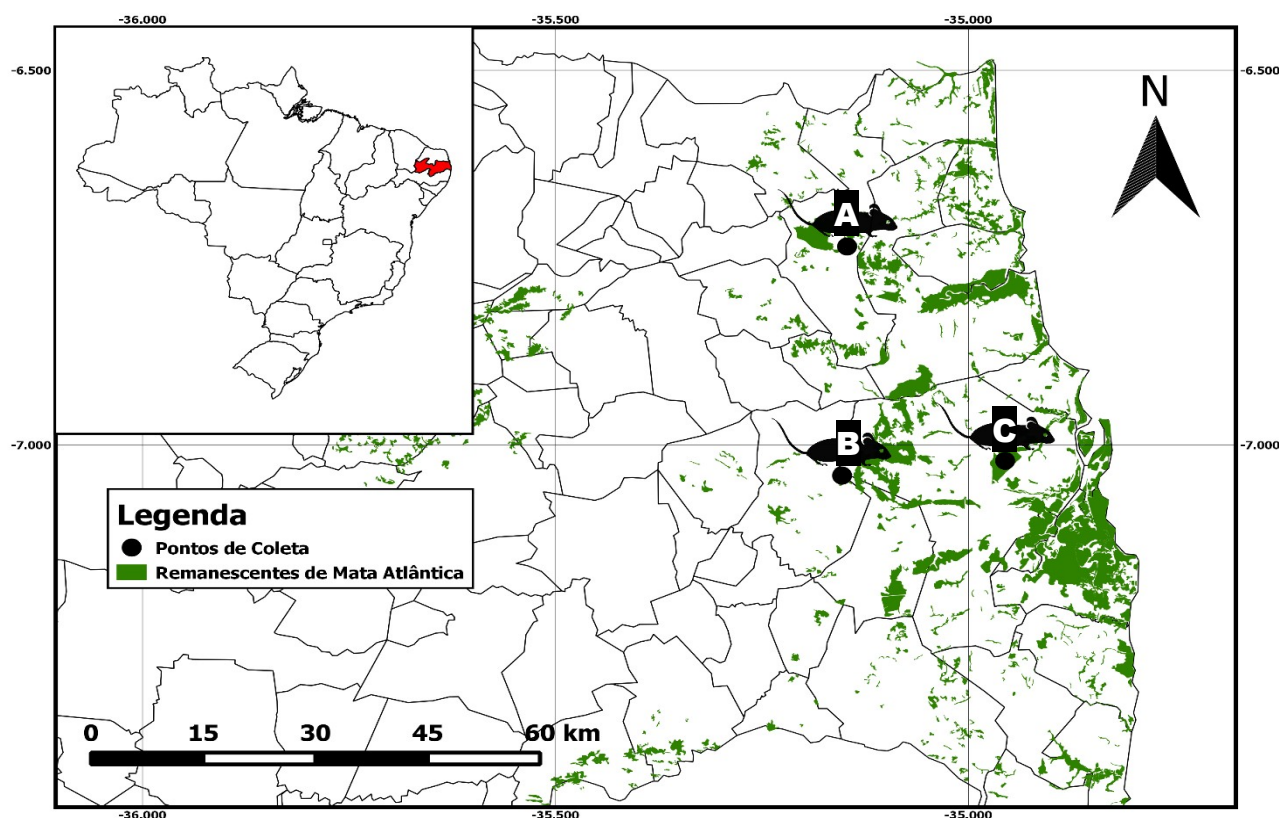


### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde a remanescentes de Mata Atlântica e monocultura de cana-de-açúcar no estado da Paraíba (Figura 1). O estudo foi realizado em três unidades de conservação de Mata Atlântica do Nordeste Brasileiro, composta por duas reservas particulares do patrimônio natural, a RPPN Fazenda Pacatuba (266,53 ha) e a RPPN Engenho Gargaú (1058,62 ha), e uma reserva biológica, a REBIO Guaribas (4.051,62 ha), além da área de monocultura de cana-de-açúcar adjacente a cada fragmento.

A RPPN Fazenda Pacatuba localizada no município de Sapé (47 km de João Pessoa/PB), possui cerca de 266,53 hectares de floresta ininterrupta (Bonvincino, 1989). A RPPN foi criada no ano de 1995, por meio da Portaria do IBAMA Nº 110 - N, com o intuito de conservar biodiversidade da Mata Atlântica. A RPPN Engenho Gargaú é composta por aproximadamente 1058,62 hectares de floresta, e está localizada no município de Santa Rita (15 km de João Pessoa/PB). Ambas as RPPNs são propriedades da Usina Japungu Agroindustrial S/A, empresa responsável pela plantação e cultivo de cerca de 22.000 hectares de cana-de-açúcar para a produção de álcool e açúcar no litoral paraibano (Santos, 2013). A Reserva Biológica Guaribas está localizada entre os municípios de Mamanguape e Rio Tinto, com 51,6 km de distância de João Pessoa/PB.

As áreas de remanescentes de Mata Atlântica, de ambas as unidades de conservação, possuem a formação vegetacional composta por Florestas estacionais semidecíduas, e Savanas (tabuleiros costeiros), e em seu entorno, plantações de cana-de-açúcar provenientes das agroindústrias (usinas de açúcar e destilarias) e de pequenos produtores individuais dessa região. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região caracterizado tipo As, o qual seria tropical com verão seco, com médias térmicas que variam entre 23.7°C a 27.2°C (Alvares *et al.*, 2013).



**FIGURA 1.** Localização dos fragmentos florestais e cana-de-açúcar amostrados na Paraíba. Ponto A corresponde à Reserva Biológica (REBIO) Guaribas, Ponto B corresponde à Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fazenda Pacatuba e Ponto C corresponde à Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Engenho Gargaú.

### 3.2 AMOSTRAGEM DE PEQUENOS MAMÍFEROS

A amostragem foi realizada por meio de armadilhas de contenção viva (live trap) (Sherman® - 25x8x9cm e Tomahawk® - 18x18x39cm). As armadilhas eram dispostas em um grid composto por 12 transectos em cada habitat (mata e cana-de-açúcar), cada um deles com cerca de 200 metros de comprimento e 10 pontos de armadilhamento, distantes 20 metros entre si e dispostos alternadamente (uma Sherman® e uma Tomahawk®). Nos remanescentes de Mata Atlântica, foram instaladas duas armadilhas adicionais, uma Sherman® e uma Tomahawk®, no sub-bosque (aproximadamente um metro do chão), com o objetivo de maximizar a captura no estrato arbóreo. No total, foram distribuídas 264 armadilhas em cada localidade, sendo 144 armadilhas nos remanescentes florestais e 120 nas áreas de monocultura de cana-de-açúcar.

A amostragem foi realizada entre os meses de julho a novembro de 2017 em uma campanha de 7 noites de armadilhamento em cada localidade, totalizando 21 dias de amostragem.

As armadilhas de contenção viva eram revisadas e iscadas diariamente pela manhã com isca mista, a qual consiste em uma mistura de sardinha, aveia, banana e farinha de amendoim. Em cada revisão, conferíamos se houve captura e as armadilhas eram iscadas novamente.

### 3.3 COLETA DO MATERIAL BIOLÓGICO

Foram capturados 31 pequenos mamíferos na cana-de-açúcar, sendo 28 roedores e 3 marsupiais; e 44 pequenos mamíferos nos fragmentos florestais, onde todos foram marsupiais. Os animais capturados foram transportados para o laboratório e tratados de acordo com os procedimentos éticos (SISBIO/ICMBio: 43641-1, CEUA – UFPB: 130/2015).

Os animais foram pesados com o auxílio de balança Pesola® (100g, 300g ou 1000g), e tiveram o comprimento do corpo medido com auxílio de régua (mm). Foi determinado também, o sexo para todos os animais. Os animais foram então sacrificados com injeção intracardíaca de KCL após o uso de anestésicos (cloridrato de quetamina – 8 a 10 mg/kg + 2mg/kg de cloridrato de xilazina via intramuscular) conforme autorizado pela CEUA/UFPB, e logo em seguida, as amostras de tecidos (fígado e rim) foram removidas imediatamente e congeladas a -20°C, onde permanecem até as análises químicas.

### 3.4 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS

O índice residual (RI) foi calculado segundo Jakob *et al.* (1996) como uma regressão de comprimento do corpo e peso corporal, com o objetivo de estimar a condição corporal (estado nutricional) dos indivíduos amostrados.

As amostras com valores positivos foram consideradas com maior condição corporal, e as com valores negativos foram consideradas com menor condição corporal.

### 3.5 ANÁLISES QUÍMICAS

As amostras de tecidos hepático e renal foram descongeladas e pesadas por meio do auxílio de uma balança analítica, onde tiveram os pesos úmidos aferidos. Após a pesagem, as amostras foram colocadas em tubo de ensaio de um bloco digestor e condicionadas na capela de exaustão. Foram adicionados 4,0 ml de ácido nítrico às amostras para iniciar o processo de digestão. As amostras foram deixadas em repouso por aproximadamente 12 horas, para a realização da digestão

prévia, aquecendo o bloco digestor gradativamente até atingir 120°C. O bloco permaneceu nesta temperatura até cessar totalmente o desprendimento de NO<sub>2</sub> (vapor castanho). No final desta etapa, as amostras se encontravam totalmente digeridas e o volume do ácido nítrico reduzido à metade do volume inicial.

Após esta etapa, foram adicionados 2,0 ml de ácido perclórico às amostras. A temperatura do bloco digestor foi aumentada gradativamente para 180°C. Nesta etapa deve-se evitar processo de aquecimento elevado para não haver perdas de amostras e principalmente de fósforo e enxofre. Foram colocados pequenos funis tampando os tubos de ensaios, a fim de evitar possíveis perdas de HClO<sub>4</sub> e extratos da amostra. Foi mantido nessa temperatura até a obtenção de fumos brancos de HClO<sub>4</sub> e o extrato das amostras estarem incolores. Colocou-se água deionizada nos tubos para cessar a digestão. Deixou os tubos esfriarem, ocorreu à filtragem dos extratos das amostras e completou o volume para 20 ml com água ultra pura.

Os metais Pb, Ni, Cr e Cd foram analisados por Espectrômetro de Absorção Atômica 240FS AA.

### 3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foi realizado o Teste de Distribuição Normal (Shapiro-wilk test). Para testar a diferença nas médias de concentração de metais pesados de cada tecido, entre os sexos, e as áreas amostradas, utilizamos o teste de Análise de Variância – ANOVA. Para analisar a ordenação das concentrações de metais pesados de todos os indivíduos, foi realizado uma análise de componentes principais – PCA. A relação entre a concentração de metais pesados e condição corporal (Índice Relativo – IR) foi calculada por meio de regressões lineares múltiplas.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no ambiente estatístico R (R: A language and environment for statistical computing).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo, foi avaliado a bioacumulação de metais pesados (Cr, Cd, Ni e Pb) em tecido hepático e renal de 75 pequenos mamíferos (roedores e marsupiais) provenientes de remanescentes florestais de Mata Atlântica e monocultura de cana-de-açúcar no estado da Paraíba, Brasil.

As capturas de marsupiais foram mais abundantes nas áreas de remanescentes florestais de Mata Atlântica, onde a espécie com maior número de indivíduos capturados foi *Didelphis albiventris* (gambá-de-orelha-branca). Em relação aos roedores, as capturas foram exclusivas das

áreas de monocultura de cana-de-açúcar, sendo a espécie *Mus musculus* (camundongo comum) a que apresentou maior número de indivíduos capturados (Tabela 1).

A maioria das capturas na área de remanescentes florestais foi de indivíduos machos, e nas áreas de monocultura de cana-de-açúcar, o número de indivíduos machos e fêmeas foi praticamente o mesmo (Tabela 1).

**TABELA 1.** Número de indivíduos machos e fêmeas capturados em áreas de remanescentes de Mata Atlântica e monocultura de cana-de-açúcar da Paraíba, Brasil.

Espécies	Cana-de-Açúcar		Remanescentes Florestais		n
	Machos	Fêmeas	Machos	Fêmeas	
Marsupiais					
<i>Didelphis albiventris</i> (gambá-de-orelha-branca)	1	-	17	10	28
<i>Marmosa demerarae</i> (cuíca/catita)	-	-	2	1	3
<i>Marmosa murina</i> (catita/guaiquica)	-	-	13	1	14
<i>Monodelphis domestica</i> (rato-cachorro-de-orelhas-curtas)	2	-	-	-	2
Roedores					
<i>Akodon cursor</i>	-	1	-	-	1
<i>Calomys callosus</i>	-	3	-	-	3
<i>Mus musculus</i> (camundongo comum)	11	11	-	-	22
<i>Necomys lasiurus</i> (pixuna/rato do rabo peludo)	1	1	-	-	2
TOTAL	15	16	32	12	75

Em relação aos parâmetros morfológicos de marsupiais e roedores, não foram detectadas diferenças entre as áreas e em relação ao sexo. Roedores provenientes das monoculturas de cana-de-açúcar apresentaram parâmetros morfológicos (peso e comprimento corporal) similar aos marsupiais provenientes do mesmo habitat (Roedores (n=28) – Peso corporal (g):  $16.73 \pm 13.06$ ; Comprimento corporal (mm):  $82.21 \pm 14.13$ ; Marsupiais (n=3) - Peso corporal (g):  $320.33 \pm 389.48$ ; Comprimento corporal (mm):  $226.00 \pm 108.06$ ). Roedores e marsupiais provenientes da cana-de-açúcar apresentaram IR com valores positivos (Roedores - IR:  $0,71 \pm 5.45$ ; Marsupiais - IR:  $16.34 \pm 107.17$ ), indicando que ambas as ordens (Rodentia e Didelphimorpha) possuem condições corporais acima do estimado. Marsupiais provenientes das áreas de remanescentes florestais de Mata Atlântica apresentaram parâmetros morfológicos (peso e comprimento corporal)

similar aos marsupiais das áreas de monocultura de cana-de-açúcar (Marsupiais – Mata (n=44): Peso corporal (g):  $295.23 \pm 242.40$ ; Comprimento corporal (mm):  $224.41 \pm 81.05$ ; Cana-de-açúcar (n=3): Peso corporal (g):  $320.33 \pm 389.48$ ; Comprimento corporal (mm):  $226.00 \pm 108.06$ ). Marsupiais didelfídeos das áreas de remanescentes florestais apresentaram IR com valores negativos (IR:  $-0.24 \pm 74.51$ ), diferenciando dos animais provenientes da cana-de-açúcar, indicando que estes animais encontram-se com uma menor condição corporal em relação ao estimado para este grupo de animais. Em um estudo realizado com a espécie *Mus musculus* na península de Setúbal, sul de Portugal (Lopes, 2009), exibiu um padrão diferente em relação aos parâmetros morfológicos de marsupiais didelfídeos observado em nosso estudo, utilizando o modelo de regressão linear entre peso total e comprimento do corpo para avaliar a condição física dos animais. Indivíduos provenientes de áreas florestais apresentavam uma melhor condição corporal, sendo refletido nos valores de peso, comprimento corporal e no coeficiente de condição física, o qual apresentou valores acima da linha de regressão. Neste estudo, não houve diferenças significativas nos coeficientes de condição física dos demais lugares estudados, indicando um fitness similar entre os indivíduos estudados, embora *Mus musculus* oriundos da zona industrial apresentarem um coeficiente de condição física e peso corporal inferior ao esperado para a espécie. O coeficiente de condição física (K) neste estudo foi calculado como a razão entre peso total observado e o esperado, onde valores de  $K > 1$  foram considerados como em boas condições físicas, enquanto que valores de  $K < 1$ , em piores condições físicas, similar ao que utilizamos, embora apenas tenhamos estimulado que valores positivos indicavam maior condição corporal e valores negativos, menor condição corporal.

Em relação ao sexo, nenhuma diferença nos parâmetros morfológicos de roedores provenientes das áreas de monocultura de cana-de-açúcar foi detectada (Machos (n=12) – Peso corporal (g):  $16.13 \pm 14.96$ ; Comprimento corporal (mm):  $81.42 \pm 17.81$ ; Fêmeas (n=16) – Peso corporal (g):  $17.20 \pm 11.84$ ; Comprimento corporal (mm):  $82.81 \pm 11.22$ ), tanto machos como fêmeas apresentaram IR com valores positivos (IR - Machos:  $0.65 \pm 1.85$ ; Fêmeas:  $0.76 \pm 7.25$ ), indicando que estes apresentam condições corporais acima do estimado. Machos e fêmeas de marsupiais provenientes das áreas de remanescentes florestais de Mata Atlântica apresentaram parâmetros morfológicos (peso e comprimento corporal) similares (Machos (n=32) – Peso corporal (g):  $292.56 \pm 264.32$ ; Comprimento corporal (mm):  $216.63 \pm 86.04$ ; Fêmeas (n=12) – Peso corporal (g):  $303 \pm 173.52$ ; Comprimento corporal (mm):  $245.17 \pm 64.57$ ), entretanto os machos apresentaram IR com valores positivos, indicando que estes possuem condições corporais acima do estimado, já as fêmeas apresentaram IR com valores negativos (IR - Machos:  $13.47 \pm 77.41$ ; Fêmeas:  $-40.12 \pm 48.92$ ).

Nos indivíduos machos e fêmeas das espécies *Mus musculus* (camundongo comum) e *Marmosa murina*, não foram detectadas nenhuma diferença nos parâmetros morfológicos (peso corporal e comprimento do corpo), no entanto, indivíduos machos do camundongo comum apresentaram IR positivo, enquanto as fêmeas apresentaram IR com valor negativo, indicando provavelmente que estas possuem a condição corporal abaixo do esperado para a espécie. Indivíduos machos da espécie *Marmosa murina* apresentaram IR com valores positivos, indicando que estes apresentam condições corporais acima do estimado, no entanto, indivíduos fêmeas apresentaram IR com valor negativo, indicando provavelmente que estas possuem a condição corporal abaixo do esperado para a espécie. Entretanto, na espécie *Didelphis albiventris* (gambá-de-orelha-branca), podemos notar que houve diferenças nos parâmetros morfológicos analisados. Os indivíduos machos foram significativamente maiores que as fêmeas, corroborando com um estudo realizado com a espécie *Didelphis virginiana* na Costa Rica (Burguer *et al.*, 1994). Em relação a condição corporal, tanto machos, de ambas as áreas de estudo, como fêmeas apresentaram IR com valor positivo, indicando provavelmente que estes possuem a condição corporal acima do esperado para a espécie (Tabela 2).

**TABELA 2.** Parâmetros morfológicos de três espécies de pequenos mamíferos com tamanho da amostra  $> 3$  (*Mus musculus*, *Marmosa murina* e *Didelphis albiventris*) das áreas de remanescentes de Mata Atlântica e monocultura de cana-de-açúcar no Nordeste da Paraíba, Brasil. Os valores são representados como  $x \pm DP$  (mín. - máx.). BW = Peso corporal (g), BL = Comprimento corporal (mm) e IR = Índice Residual Relativo, sendo  $x$  = média, DP = desvio padrão, mín. = valor mínimo e máx. = valor máximo.

	Cana-de-Açúcar		Remanescentes Florestais	
	Machos	Fêmeas	Machos	Fêmeas
<i>Mus musculus</i>	(n = 11)	(n = 11)	(n = 0)	
BW (g)	$11.87 \pm 2.53$ (7 – 15)	$12.45 \pm 2.57$ (8 – 17)	—	
BL (mm)	$76.45 \pm 4.89$ (69 – 83)	$79.45 \pm 6.74$ (68 – 91)	—	
IR	$0.30 \pm 0.92$ (-1.65 – 1.5)	$-0.29 \pm 0.86$ (-1.64 – 1.21)	—	
<i>Marmosa murina</i>	(n = 0)		(n = 13)	(n = 1)
BW (g)	—		$47.58 \pm 12.40$ (33 – 70)	23
BL (mm)	—		$129.31 \pm 13.46$ (110 – 153)	109
IR	—		$0.48 \pm 5.80$ (-8.57 – 14.8)	-6.32

<i>Didelphis albiventris</i>	(n = 1)	(n = 0)	(n = 17)	(n = 10)
BW (g)	770	-	522.78 ± 178.52 (225 – 840)	360.89 ± 129.64 (168 – 520)
BL (mm)	350	-	296.39 ± 32.07 (230 – 340)	269.30 ± 34.06 (210 – 310)
IR	24.93	-	25.91 ± 67.83 (-78.22 – 233.82)	2.14 ± 49.32 (- 43.40 – 82.15)

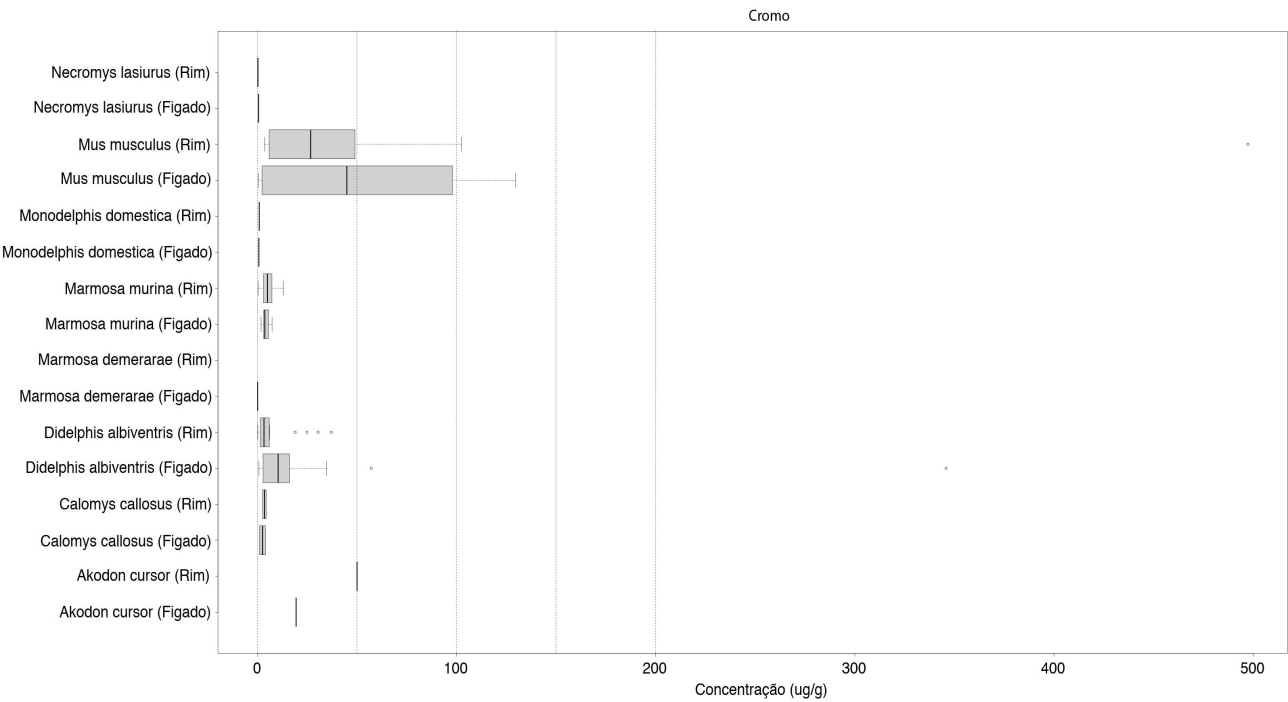
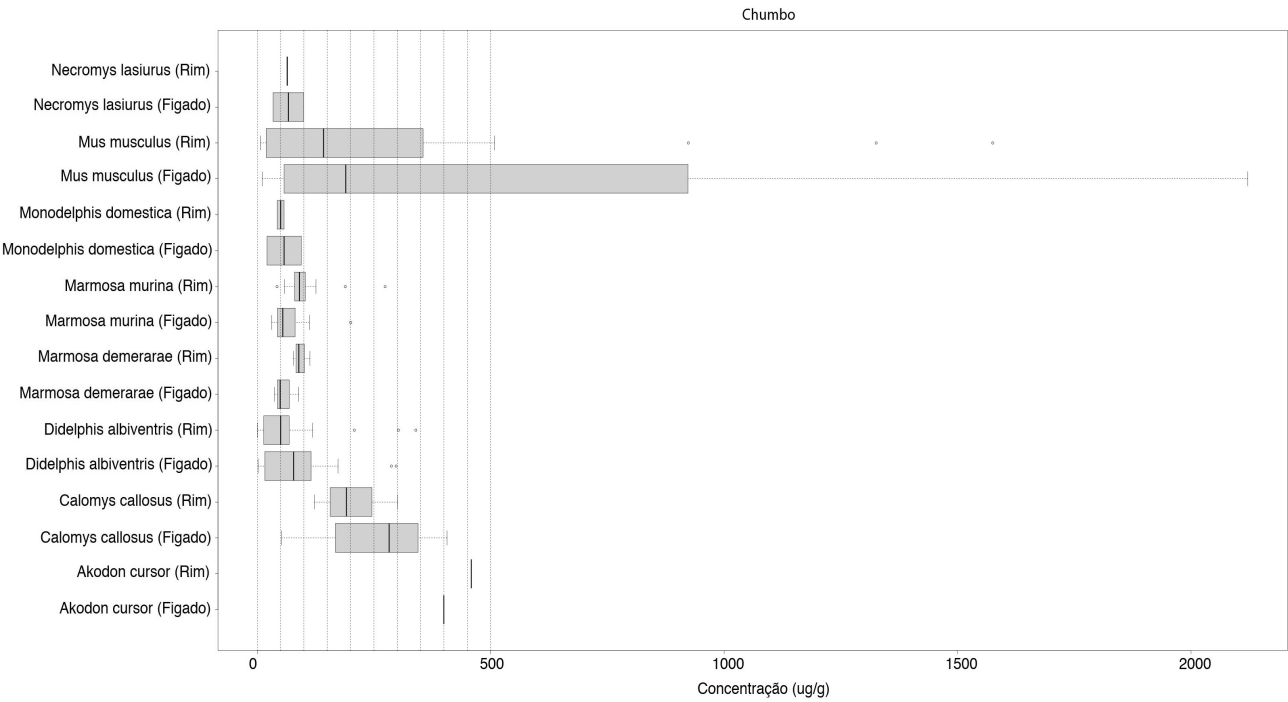
Dos metais pesados analisados, o chumbo foi o único detectado em todas as amostras (149 amostras) dos espécimes capturados (Figura 2). Este metal apresentou elevadas concentrações em todas as espécies, independentemente do local que eram provenientes, tecido ou sexo, evidenciando assim que os locais de estudos e os animais, encontram-se extremamente contaminados, pois este metal é considerado um metal pesado não essencial extremamente tóxico ao ambiente mesmo em baixas concentrações, juntamente com o cádmio, os quais afetam inúmeras funções fisiológicas, entre elas, o sistema nervoso, excretor, reprodutor e hematopoiético (Lopes, 2009). A contaminação por chumbo pode ocorrer por meio da ingestão de água e alimento contaminado, uma vez que este percorrer longas distâncias nos ecossistemas (Curi *et al.*, 2011). Cr, Ni e Cd foram detectados em apenas algumas amostras, sendo detectado em 102, 66 e 78 amostras de tecido, respectivamente. A bioacumulação de metais pesados em relação as espécies analisadas, ocorreram de maneira significativa para os metais pesados níquel, cádmio e chumbo (Tabela 3).

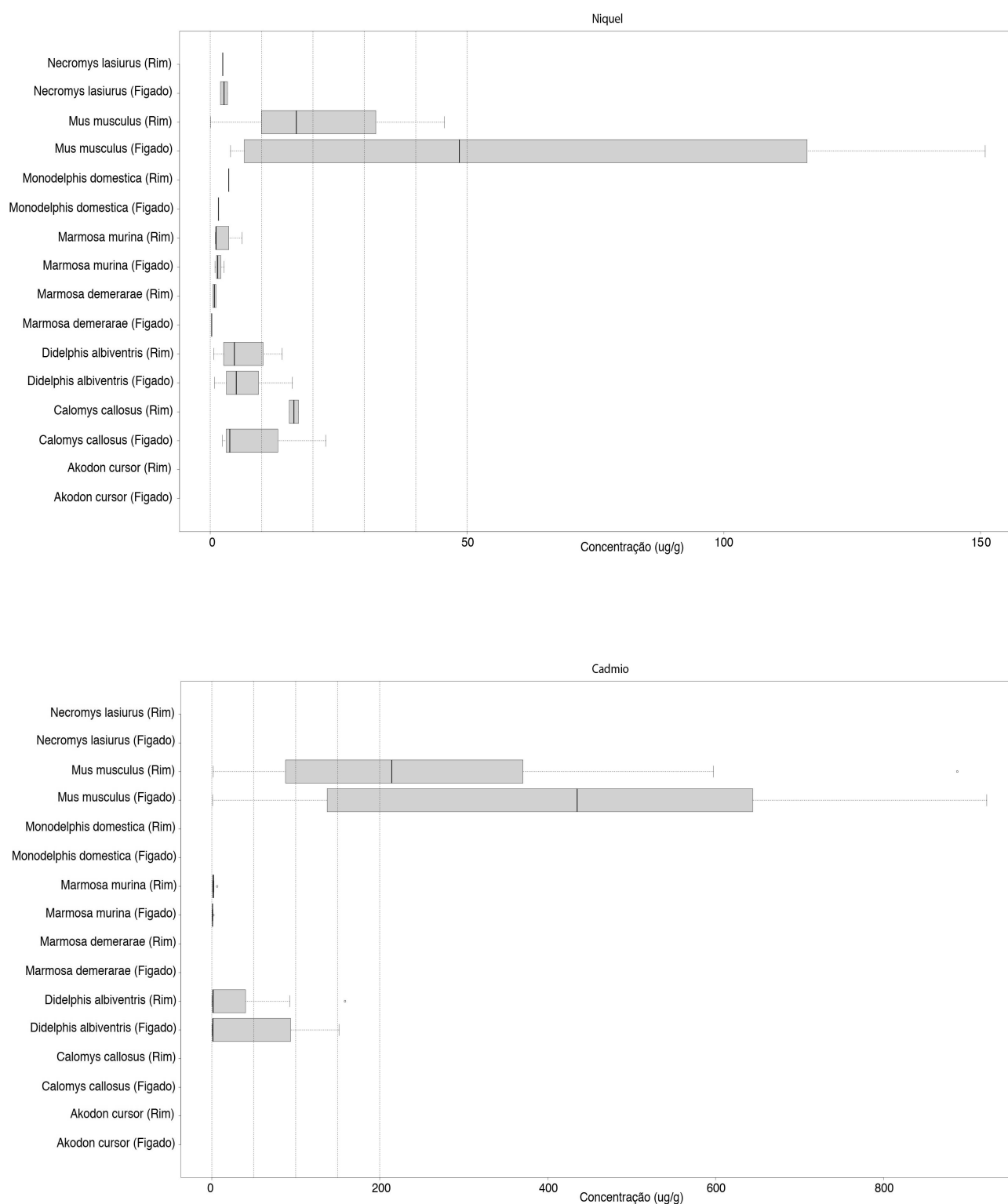
Como esperado, houve uma maior concentração de metais pesados na área de monocultura de cana-de-açúcar do que na área de remanescentes florestais de Mata Atlântica, evidenciando assim um nível mais elevado de contaminação nesta área, provavelmente devido à utilização de pesticidas e fertilizantes, os quais apresentam elevados teores de metais em sua composição (Gimeno-García *et al.*, 1996, López-Carnelo *et al.*, 1997, Ju *et al.*, 2007). Os agrotóxicos mais utilizados em culturas de cana-de-açúcar são os fungicidas, mais precisamente, os fungicidas cúpricos, ditocarbamatos, sulfurados, mercuriais, antibióticos, carbamatos, nitrobenzênicos e derivados da stalimidas; herbicidas provenientes de substâncias inorgânicas, orgânicas, uréias, compostos amônicos, fenóis e fenoxiácidos; e inseticidas clorofosforados, fosforados, sistêmicos ou carbamatos (sistêmicos e não sistêmicos) (Domingues, 2010).

Nas culturas de cana-de-açúcar, a aplicação destes produtos se deve principalmente ao aparecimento de plantas de ervas daninhas que interferem negativamente no desenvolvimento e na produtividade dessas culturas (Kuva *et al.*, 2003), podendo ocasionar reduções de produtividade entre 20 a 86% (Kuva *et al.*, 2000), porém o uso frequente e incorreto dos agrotóxicos, na maioria das vezes, podem oferecer ameaças de contaminação de águas superficiais e subterrâneas (Spadotto *et al.*, 2010), do solo, dos animais e do próprio homem, ou seja, contaminação do ambiente em geral



decorrente da utilização intensiva e acúmulo de compostos com alto grau de toxicidade e persistência (Henn, 2009).





**FIGURA 2.** Boxplot da concentração de Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Níquel (Ni) e Cádmio (Cd) ( $\mu\text{g/g}^{-1}$ ) em marsupiais e roedores. (Cr:  $p = 0.109$ ; Ni =  $0.00367$ ; Cd =  $6.35\text{e-}11$ ; Pb =  $5.82\text{e-}06$ ). Linhas pontilhadas a cada 50 unidades para Pb, Cr, Cd e a cada 10 unidades para Ni.

**TABELA 3.** ANOVA de concentrações de metais pesados nas espécies de pequenos mamíferos. (Cd = cádmio; Ni = níquel; Cr = cromo; Pb = chumbo).

	<b>G.L</b>	<b>Soma Quad.</b>	<b>Quad. Méd</b>	<b>F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>[Ni]</b>					
Espécie	6	19457	3243	3.668	<b>0.00367</b>
Resíduos	59	52162	884		
	<b>G.L</b>	<b>Soma Quad.</b>	<b>Quad. Méd</b>	<b>F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>[Cd]</b>					
Espécie	2	1580695	790348	32.64	<b>6.35e-11</b>
Resíduos	75	1816207	24216		
	<b>G.L</b>	<b>Soma Quad.</b>	<b>Quad. Méd</b>	<b>F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>[Pb]</b>					
Espécie	7	3227898	461128	5.838	<b>5.82e-06</b>
Resíduos	141	11137205	78987		
	<b>G.L</b>	<b>Soma Quad.</b>	<b>Quad. Méd</b>	<b>F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>[Cr]</b>					
Espécie	7	46534	6648	1.741	0.109
Resíduos	93	355005	3817		

Pequenos mamíferos provenientes de ambos os locais apresentam concentrações de metais pesados em seus tecidos, evidenciando assim que ambos os locais de estudos encontram-se contaminados, exceto nos tecidos hepático e renal de marsupiais provenientes das áreas de cana-de-açúcar, não foi detectado concentrações de cádmio (n=3). Este grupo de animais são comumente utilizados como modelos para análise de contaminação ambiental, pois são considerados organismos sentinelas (Nunes *et al.*, 2001, Sánchez-Chardi *et al.*, 2008, Viegas-Crespo *et al.*, 2003), pois auxiliam a determinar a presença e a extensão de absorção de contaminantes em ecossistemas terrestres (Lopes, 2009). A principal rota de exposição de pequenos mamíferos aos metais pesados

nos ambientes poluídos é através da ingestão de alimento contaminados (Hunter *et al.*, 1987, Ma *et al.*, 1989, Ma *et al.*, 1991).

Dentre as duas ordens analisadas, Didelphimorpha e Rodentia, a última foi a que apresentou as maiores concentrações de metais pesados em seus tecidos, evidenciando que estes animais, principalmente *Mus musculus*, camundongos, espécie invasora, exótica e comensal, encontram-se em um ambiente extremamente contaminado por metais pesados. Devido sua associação com as atividades humanas, seu curto ciclo de vida e longevidade e por assemelhar-se fisiologicamente com os mesmos, tornam-se bons indicadores aos riscos decorrentes da exposição aos contaminantes pelos humanos (Lopes, 2009).

O tecido hepático, de maneira geral, foi o principal acumulador de metal pesado em pequenos mamíferos, já que é juntamente com os rins, os principais órgãos responsáveis pelos processos de metabolização da maioria das substâncias tóxicas, exceto nos seguintes casos: níquel (Ni) em marsupiais das plantações de cana de açúcar ( $\text{Ni ug/g}^{-1} = 2.24 \pm 1.93$ ), chumbo (Pb) em marsupiais provenientes de áreas de Mata Atlântica ( $\text{Pb ug/g}^{-1} = 83.40 \pm 75.07$ ) e cromo (Cr) em roedores das plantações de cana-de-açúcar ( $\text{Cr ug/g}^{-1} = 55.02 \pm 121.14$ ) apresentaram concentrações mais elevadas de metais no tecido renal. Em um estudo realizado com o roedor *Apodemus sylvaticus* na Espanha, o qual avaliou a bioacumulação de chumbo, mercúrio, cádmio, ferro, magnésio, zinco, cobre, manganês, molibdênio e cromo e os efeitos nos parâmetros morfológicos, plasma e genotóxicos, além dos efeitos de idade e sexo nesses parâmetros (Sánchez-Chardi *et al.*, 2007), corroborou com os nossos casos de exceção. Para *Apodemus sylvaticus*, o tecido renal bioacumulou elevadas concentrações de chumbo, cádmio e cromo em relação ao tecido hepático. Assim como em outro estudo realizado com a espécie de musaranho (*Crocidura russula*), o qual avaliou a bioacumulação de metais (chumbo, mercúrio, cádmio, ferro, magnésio, zinco, cobre, manganês, molibdênio e cromo) e os efeitos nos parâmetros morfológicos (IR, pesos relativos) e genotóxicos como biomarcadores de poluição do aterro sanitário de Garraf, Barcelona - Espanha (Sánchez-Chardi e Nadal, 2007), o tecido renal também apresentou elevadas concentrações de chumbo e cádmio em comparação com o tecido hepático, em ambos os locais de estudo.

A ordem Rodentia apresentou elevadas concentrações de chumbo e cádmio no tecido hepático ( $\text{Pb ug/g}^{-1} = 429.58 \pm 514.11$ ;  $\text{Cd ug/g}^{-1} = 406.11 \pm 316.98$ ). Em muitos estudos com pequenos mamíferos, é evidenciado a bioacumulação de chumbo e cádmio em áreas contaminadas (Torres *et al.*, 2006, Sánchez-Chardi e Nadal, 2007). O fígado é o principal armazenador de cádmio e responsável pelo metabolismo do mesmo, porém em exposição crônica, o rim se torna o principal órgão acumulador de cádmio (Swiergosz-Kowalewska, 2001). O cádmio é associado a uma série de efeitos adversos no fígado de pequenos mamíferos, como stress oxidativo, lesão aguda, apoptose e

necrose (Pankakoski *et al.*, 1993, Stansley e Rosce, 1996, Milton *et al.*, 2003). O chumbo, por sua vez, afeta o sistema hematopoiético, neurológico, cardiovascular, gastrointestinal, urinário e reprodutor (Simmonds, 1994).

Indivíduos da espécie *Mus musculus* (camundongo comum) foram capturados exclusivamente nas áreas de monocultura de cana-de-açúcar. Estes animais apresentaram elevadas concentrações de Cr, Cd, Ni e Pb em ambos os tecidos analisados (tecido hepático e renal), vale salientar que indivíduos desta espécie exibiram elevados níveis de chumbo em ambos os tecidos, quando comparado com os demais metais (*M. musculus*- Pb ug/g<sup>-1</sup> (Rim) = 318.97±431.04; (Fígado) = 491.63±563.92). Indivíduos de *Marmosa murina* foram apenas capturados em áreas de remanescentes de Mata Atlântica e possuíram elevadas concentrações de chumbo no tecido renal (*M. Murina* - Pb ug/g<sup>-1</sup> (Rim) = 106.72±58.89), embora houvesse a presença dos demais metais, em baixos níveis, no tecido hepático e renal. Além disso, a espécie *Didelphis albiventris* (gambá-de-orelha-branca) apresentou indivíduos de ambas as localidades, porém animais provenientes das áreas de remanescentes de Mata Atlântica apresentaram elevadas concentrações de metais pesados em ambos os tecidos, em relação aos indivíduos provenientes das áreas de plantação de cana-de-açúcar. Nos gambás-de-orelha-branca, cádmio não foi detectado em ambos os tecidos (fígado e rim) nas áreas de monocultura de cana-de-açúcar (Tabela 4) (n=1). Em *Didelphis virginiana*, ao analisar-se pelo, foi constatado que os níveis de metais variaram (baixos níveis de cádmio, chumbo e mercúrio; níveis intermediários de cromo; e níveis relativamente altos de manganês) (Burguer *et al.*, 1994), destinguindo assim dos nossos resultados.

As demais espécies capturadas tiveram um número amostral  $\leq$  a 3, sendo que as amostras analisadas apresentaram concentrações de metais pesados em seus tecidos. *Marmosa demerarae* foi capturada exclusivamente nos fragmentos de Mata Atlântica e teve um número amostral de 3 indivíduos, sendo 2 indivíduos machos e 1 fêmea. Tanto para tecido hepático como renal, os indivíduos machos e fêmea desta espécie obtiveram elevadas concentrações de chumbo em seus tecidos (Pb ug/g<sup>-1</sup> (Rim - machos) = 101.05±16.84; (Fígado - machos) = 62.95±35.94; Pb ug/g<sup>-1</sup> (Rim - fêmea) = 77.46; (Fígado - fêmea) = 49.23). Cromo foi detectado apenas no tecido hepático de fêmea desta espécie (Cr ug/g<sup>-1</sup> (Fígado) = 0.16), enquanto que o níquel apresentou baixas concentrações nos tecidos hepático e renal de machos e tecido renal de fêmea (Ni ug/g<sup>-1</sup> (Fígado - machos) = 0.14±0.19); (Rim - machos) = 0.55±0.78); Ni ug/g<sup>-1</sup> (Rim - fêmea) = 0.5), não sendo detectado no tecido hepático de fêmea de *M. demerarae*. Para a espécie *Monodelphis domestica* (rato-cachorro-de-orelhas-curtas), obtivemos um número amostral de apenas dois indivíduos (machos) capturados nas áreas de monocultura de cana-de-açúcar. Igualmente como ocorreu com *M. murina*, *M. domestica* exibiu elevados níveis de chumbo em ambos os tecidos analisados (Pb

ug/g<sup>-1</sup> (Rim) = 50.12±10.38; (Fígado) = 57.63±52.20) e, cromo e níquel tiveram baixas concentrações nos tecidos hepático e renal (Cr ug/g<sup>-1</sup> (Rim) = 0.50±0.71; (Fígado) = 0.39±0.54); Ni ug/g<sup>-1</sup> (Rim) = 1.80±2.55; (Fígado) = 0.80±1.13). Cádmio não foi detectado em nenhum tecido para as espécies mencionadas acima.

As demais espécies da ordem Rodentia, *Akodon cursor*, *Calomys callosus* e *Necomys lasiurus*, foram capturadas apenas em áreas de plantação de cana-de-açúcar e obtivemos 1, 3 e 2 indivíduos, respectivamente. O metal pesado cádmio também não foi detectado em nenhum indivíduo das três espécies de roedores e ambas apresentaram elevadas concentrações de chumbo em ambos os tecidos analisados (rim e fígado): *Akodon cursor* (Pb ug/g<sup>-1</sup> (Rim) = 458.47; (Fígado) = 399.69); *Calomys callosus* (Pb ug/g<sup>-1</sup> (Rim) = 204.41±90.07; (Fígado) = 246.99±179.87); e *Necomys lasiurus* (Pb ug/g<sup>-1</sup> (Rim) = 64.33±0.76; (Fígado) = 66.78±46.36). Para cromo, as três espécies tiveram baixas concentrações nos tecidos hepático e renal: *Akodon cursor* (Cr ug/g<sup>-1</sup> (Rim) = 50,07; (Fígado) = 19.74); *Calomys callosus* (Cr ug/g<sup>-1</sup> (Rim) = 3.55±1.23; (Fígado) = 2.59±2.16); e *Necomys lasiurus* (Cr ug/g<sup>-1</sup> (Rim) = 0.17±0.23; (Fígado) = 0.32±0.45). Níquel não foi detectado em ambos os tecidos (hepático e renal) da espécie *Akodon cursor*, porém para as outras duas espécies (*Calomys callosus* e *Necomys lasiurus*), níquel foi detectado em baixas concentrações nos tecidos hepático e renal: *Calomys callosus* (Ni ug/g<sup>-1</sup> (Rim) = 16.28±1.29; (Fígado) = 9.56±11.21); e *Necomys lasiurus* (Ni ug/g<sup>-1</sup> (Rim) = 2.43±0; (Fígado) = 2.67±0.96).

Em ambos os sexos dos espécimes das ordens analisadas, foram detectadas concentrações de metais pesados, exceto nos seguintes casos: níquel não foi detectado em nenhum tecido (fígado e rim) de fêmeas de *Marmosa murina* das áreas de Mata Atlântica; cádmio não foi detectado no tecido hepático de fêmeas da espécie *M. murina* das áreas de Mata Atlântica; e cádmio não foi detectado em ambos os tecidos (fígado e rim) de machos de gambás-de-orelha-branca (*Didelphis albiventris*) originários das áreas de monocultura de cana-de-açúcar (Tabela 5).

A espécie *Mus musculus* (camundongo comum) foi a única espécie que apresentou concentrações de todos os metais pesados em ambos os sexos e tecidos. Indivíduos fêmeas de camundongo comum apresentaram níveis mais elevados de cromo, níquel e cádmio em seus tecidos em relação aos machos, os quais apresentaram apenas o chumbo, em elevadas concentrações em seus tecidos em comparação com as fêmeas. A bioacumulação de metal pesado cromo decorrente do sexo ocorreu de maneira significativa para o camundongo comum (*Mus musculus*) ( $p = 0.0505$ ) (Tabela 6). Espécimes machos e fêmeas de *Marmosa murina* exibiram concentrações similares de cromo, níquel, chumbo e cádmio em seus tecidos. Indivíduos machos do gambá-de-orelha-branca (*Didelphis albiventris*) apresentaram níveis mais elevados de cromo e chumbo em seus tecidos em relação as fêmeas, as quais apresentaram níquel e cádmio, em elevadas concentrações em seus

tecidos em comparação com os machos (Tabela 5). A bioacumulação de níquel decorrente do sexo ocorreu de maneira significativa ( $p = 0.0512$ ) (Tabela 7). Para o gambá-da-Virgínia (*Didelphis virginiana*), as fêmeas, apesar de possuírem tamanho corporal menor, apresentaram níveis significativamente superior de chumbo e cádmio no pelo, em comparação aos machos (Burguer *et al.*, 1994), indo de encontro em parte com nossos resultados. Inúmeros estudos com mamíferos veem mostrando que fêmeas geralmente possuem concentrações mais baixas de metais em seus corpos, principalmente em período de maturação sexual e reprodução, onde elas transferem os metais acumulados para os filhotes durante o período de lactação, ocasionando na diminuição destes em seus corpos.

**TABELA 4.** Concentrações de metais pesados (ug/g <sup>-1</sup>) em três espécies de pequenos mamíferos com tamanho da amostra > 3 (*Mus musculus*, *Marmosa murina* e *Didelphis albiventris*) das áreas de remanescentes de Mata Atlântica e monocultura de cana-de-açúcar no Nordeste da Paraíba, Brasil. Os valores são representados como  $x \pm DP$  (mín. - máx.), sendo  $x$  = média, DP = desvio padrão, mín.= valor mínimo e máx. = valor máximo.

	Fígado		Rim	
	Cana-de-Açúcar	Remanescentes florestais	Cana-de-Açúcar	Remanescentes florestais
<b><i>Mus musculus</i></b>	<b>n = 21</b>	<b>n = 0</b>	<b>n = 22</b>	<b>n = 0</b>
Cr	53 ± 51.44 (0.58 – 129.58)	–	68.57 ± 138.04 (3.72 – 497.29)	–
Ni	60.79 ± 52.76 (3.95 – 150.91)	–	18.86 ± 14.94 (0.04 – 45.59)	–
Pb	491.63 ± 563.92 (10.81 – 2121.73)	–	311.97 ± 431.04 (6.90 – 1575.25)	–
Cd	406.11 ± 316.98 (1 – 922.97)	–	284.59 ± 273.21 (1.76 – 887.82)	–
<b><i>Marmosa murina</i></b>	<b>n = 0</b>	<b>n = 14</b>	<b>n = 0</b>	<b>n = 14</b>
Cr	–	4.11 ± 1.93 (1.88 – 7.44)	–	5.03 ± 3.61 (0.36 – 13.06)
Ni	–	1.68 ± 0.91 (0.92 – 2.69)	–	2.76 ± 2.94 (1 – 6.15)
Pb	–	69.67 ± 44.73 (30.87 – 200.15)	–	106.72 ± 58.89 (42.56 – 274.03)
Cd	–	0.96 ± 0.47 (0.34 – 1.87)	–	2.18 ± 1.69 (0.91 – 6.40)
<b><i>Didelphis albiventris</i></b>	<b>n = 1</b>	<b>n = 27</b>	<b>n = 1</b>	<b>n = 27</b>
Cr	0.94	30.50 ± 75.57 (0.82 – 345.76)	0.26	7.57 ± 10.38 (0.29 – 37.15)
Ni	1.49	7.63 ± 5.53 (0.85 – 15.98)	0.87	6.60 ± 4.61 (0.68 – 13.96)
Pb	23.42	86.96 ± 78.39 (1.89 – 297.61)	21.94	70.22 ± 84.12 (0.85 – 339.67)
Cd	Não detectado	40.26 ± 53.72 (0.29 – 151.64)	Não detectado	25.80 ± 43.02 (0.05 – 158.71)



**TABELA 5.** Concentrações de metais pesados ( $\mu\text{g/g}^{-1}$ ) nos tecidos de machos e fêmeas de três espécies de pequenos mamíferos com tamanho da amostra  $> 3$  (*Mus musculus*, *Marmosa murina* e *Didelphis albiventris*) das áreas de remanescentes de Mata Atlântica e monocultura de cana-de-açúcar no Nordeste da Paraíba, Brasil. Os valores são representados como  $x \pm \text{DP}$  (mín. - máx.), sendo  $x$  = média, DP = desvio padrão, mín.= valor mínimo e máx. = valor máximo.

	Fígado			Rim		
	Cana-de-Açúcar		Remanescentes florestais	Cana-de-Açúcar		Remanescentes florestais
	Machos (n = 10)	Fêmeas (n = 11)	Machos/Fêmeas (n = 0)	Machos (n = 11)	Fêmeas (n = 11)	Machos/ Fêmeas (n = 0)
<i>Mus musculus</i>						
Cr	$26.26 \pm 37.30$ (0.58 – 92.25)	$99.78 \pm 38.09$ (44.96 - 129.58)	–	$22.16 \pm 22.72$ (3.72 – 60.27)	$114.98 \pm 190.35$ (6.38 – 497.29)	–
Ni	$50.22 \pm 54.05$ (3.95 – 132.12)	$71.36 \pm 53.38$ (4.84 – 150.91)	–	$15.18 \pm 18.06$ (0.04 – 45.59)	$22.54 \pm 11.20$ (10.09 – 40.79)	–
Pb	$497.35 \pm 682.69$ (18.30 – 2121.73)	$486.44 \pm 465.28$ (10.81 – 1219.45)	–	$340.49 \pm 489.50$ (8.14 – 1575.25)	$283.45 \pm 385.71$ (6.90 – 1325.63)	–
Cd	$293.33 \pm 388.35$ (1 – 922.97)	$518.90 \pm 208.46$ (180.97 – 706.90)	–	$230.49 \pm 346.16$ (1.76 – 887.82)	$349.51 \pm 164.80$ (203.64 – 597.33)	–
<i>Marmosa murina</i>	Machos/ Fêmeas (n = 0)		Machos (n = 13)	Machos/Fêmeas (n = 0)		Fêmeas (n = 1)
Cr	–		$4.11 \pm 1.76$ (1.88 – 7.44)	–		$4.78 \pm 3.65$ (0.36 – 13.06)
Ni	–		$1.68 \pm 0.91$ (0.92 – 2.69)	–		$2.76 \pm 2.9$ (1 – 6.15)
Pb	–		$70.79 \pm 46.35$ (30.87 – 200.15)	–		$107.90 \pm 61.12$ (42.56 – 274.03)
Cd	–		$0.99 \pm 0.50$ (0.34 – 1.87)	–		$2.23 \pm 1.80$ (0.91 – 6.40)

<i>Didelphis albiventris</i>	Machos (n = 1)	Fêmeas (n = 0)	Machos (n = 17)	Fêmeas (n = 10)	Machos (n = 1)	Fêmeas (n = 0)	Machos (n = 17)	Fêmeas (n = 10)
Cr	0.94	–	$38.19 \pm 93.20$ (0.82 – 345.76)	$16.21 \pm 18.52$ (1.46 – 57.2)	0.26	–	$9.90 \pm 12.49$ (0.29 – 37.15)	$3.49 \pm 1.99$ (1.03 – 6.24)
Ni	1.49	–	$4.76 \pm 3.55$ (0.85 – 9.39)	$10.49 \pm 6.08$ (3.14 – 15.98)	0.87	–	$5.39 \pm 4.25$ (2.6 – 10.29)	$7.33 \pm 5.13$ (0.68 – 13.96)
Pb	23.32	–	$97.90 \pm 87.52$ (3.44 – 297.61)	$68.35 \pm 59.35$ (1.89 – 164.9)	21.94	–	$89.04 \pm 99.71$ (4.11 – 339.67)	$38.22 \pm 30.99$ (0.85 – 78.89)
Cd	Não detectado	–	$35.61 \pm 57.99$ (0.29 – 151.64)	$46.08 \pm 51.14$ (0.92 – 118.2)	Não detectado	–	$16 \pm 30.14$ (0.05 – 92.62)	$41.73 \pm 57.11$ (0.34 – 158.71)

**TABELA 6.** ANOVA: Concentração de metais pesados decorrente do sexo em *Mus musculus* (Cd = cádmio; Ni = níquel; Cr = cromo; Pb = chumbo).

[Ni]					
	G.L.	Soma Quad.	Quad. Méd.	F	Pr(>F)
Sexo	1	1421	1421	0.739	0.398
Resíduos	26	49980	1922		

[Cd]					
	G.L.	Soma Quad.	Quad. Méd.	F	Pr(>F)
Sexo	1	160698	160698	1.948	0.179
Resíduos	19	1567375	82493		

[Pb]					
	G.L.	Soma Quad.	Quad. Méd.	F	Pr(>F)
Sexo	1	9829	9829	0.038	0.846
Resíduos	41	10598789	258507		

[Cr]					
	G.L.	Soma Quad.	Quad. Méd.	F	Pr(>F)
Sexo	1	40388	40388	4.304	<b>0.0505</b>
Resíduos	21	197067	9384		

**TABELA 7.** ANOVA: Concentração de metais pesados decorrente do sexo em *Didelphis albiventris* (Cd = cádmio; Ni = níquel; Cr = cromo; Pb = chumbo).

[Ni]					
	G.L.	Soma Quad.	Quad. Méd.	F	Pr(>F)
Sexo	1	93.3	93.34	4.442	<b>0.0512</b>
Resíduos	21	197067	9384		

[Cd]					
	G.L.	Soma Quad.	Quad. Méd.	F	Pr(>F)
Sexo	1	3545	3545	1.551	0.221
Resíduos	37	84557	2285		

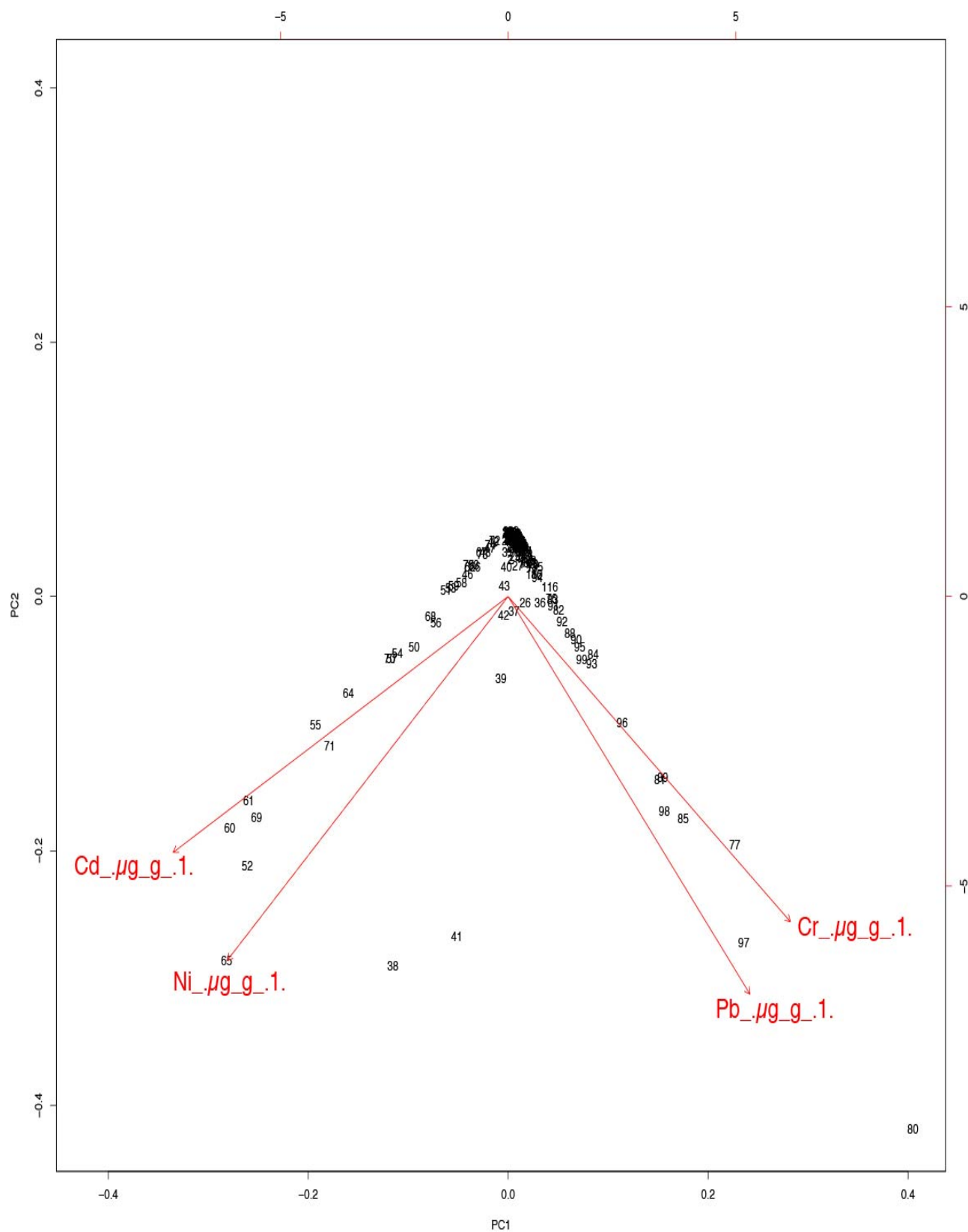
**[Pb]**

	<b>G.L.</b>	<b>Soma Quad.</b>	<b>Quad. Méd.</b>	<b>F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
Sexo	1	16903	16903	2.711	0.105
Resíduos	54	336674	6235		

**[Cr]**

	<b>G.L.</b>	<b>Soma Quad.</b>	<b>Quad. Méd.</b>	<b>F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
Sexo	1	1547	1547	0.563	0.457
Resíduos	42	115333	2746		

Realizamos ainda uma análise de componentes principais (PCA) para identificar as formas que ocorriam a acumulação de metais pesados nas espécies de pequenos mamíferos estudadas. Podemos perceber que houve duas vias de acumulação: a da esquerda, é a via de acumulação dos metais cádmio - níquel, já a via da direita, é a via de acumulação de cromo - chumbo (Figura 3). Desta forma, concluímos por meio dos testes de correlação de Pearson, que para este grupo de animais, a acumulação de metais pesados ocorreu de forma conjunta para os metais cádmio e níquel, assim como para cromo e chumbo, os quais obtiveram uma correlação positiva (Tabela 8). Porém podemos observar ainda que a correlação entre os metais chumbo e níquel foi positiva e significativa.



**FIGURA 3.** PCA das concentrações de Cr, Ni, Pb e Cd ( $\mu\text{g/g}^{-1}$ ), evidenciando duas rotas de contaminação.

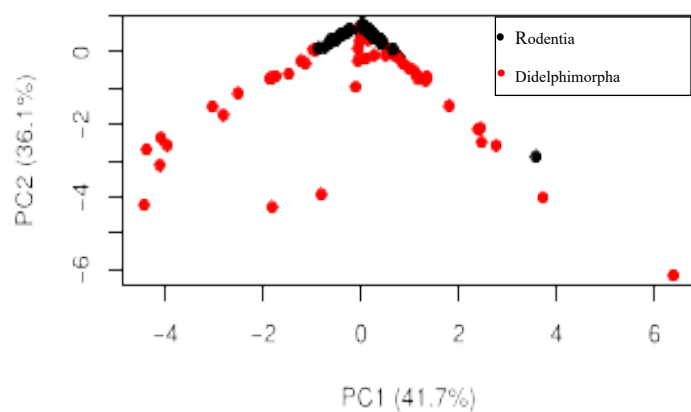
**TABELA 8.** Testes de Correlação de Pearson significativos entre os metais pesados (Cd = cádmio; Ni = níquel; Cr = cromo; Pb = chumbo).

Correlação entre metais pesados						
	Cd ~ Ni	Pb ~ Cd	Pb ~ Cr	Cr ~ Cd	Pb ~ Ni	Cr ~ Ni
t	5.1849	-0.70982	5.9975	- 0. 55403	5.4383	- 0.37256
dF	35	76	99	52	64	25
p	<b>0.169e-06</b>	0.48	<b>3.283e-08</b>	0.5819	<b>9.009e-07</b>	0.7126
Correlação de Pearson	0.6591057	-0.08115365	0.516238	- 0.07660499	0.5621881	- 0,07430524

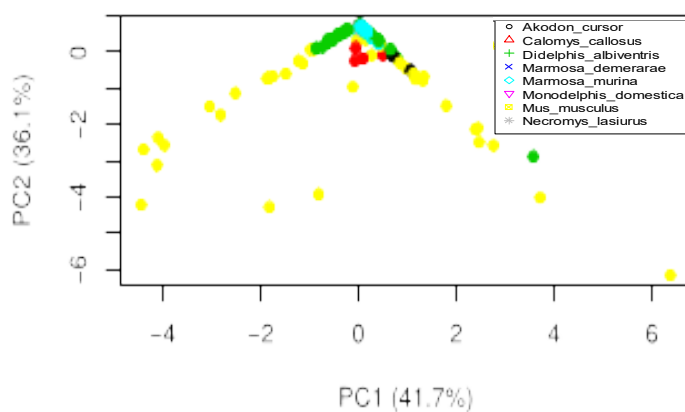
Além disso, obtivemos como resultado para as espécies *Didelphis albiventris* e *Mus musculus*, que a acumulação de metais pesados ocorria por ambas as vias, e para as demais espécies, apenas por uma via de contaminação, fato também observado em relação a acumulação de metais pesados por localidade, onde podemos perceber que apenas na RPPN Engenho Gargaú, a acumulação de metais ocorria por ambas as vias, e para as demais localidades (RPPN Fazenda Pacatuba e REBIO Guaribas), apenas por uma via de contaminação, não sabendo ao certo o motivo destas ocorrências (Figura 4).

Realizamos ainda teste de correlação de Pearson para identificar as possíveis correlações entre os metais pesados nas espécies *Didelphis albiventris* e *Mus musculus*. Pudemos percebermos que houve uma correlação similar a observada quando foram analisados os metais pesados como um todo, ou seja, a acumulação de metais pesados para o gambá-de-orelha-branca e camundongo comum ocorreram de forma conjunta para os metais cádmio e níquel, assim como para cromo e chumbo, os quais obtiveram uma correlação positiva (Tabela 9). Porém podemos observar ainda que, para a espécie *Didelphis albiventris*, a correlação entre os metais chumbo e cádmio foi negativa e significativa, diferindo do observados para os metais pesados como um todo e para a espécie *Mus musculus*.

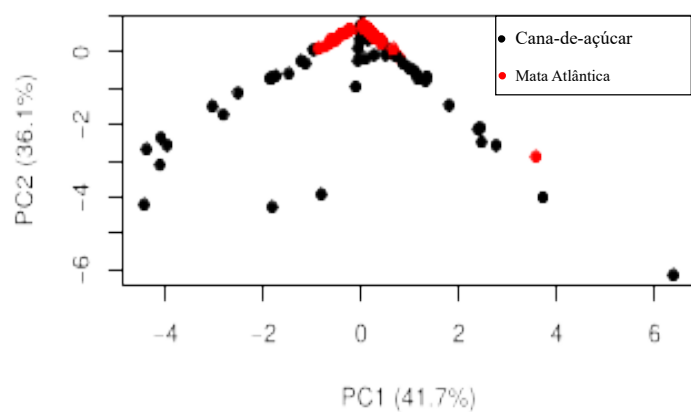
PCA por Ordem



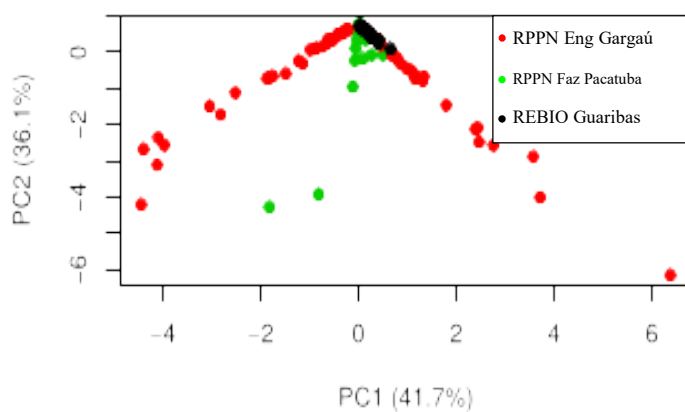
PCA por Espécie



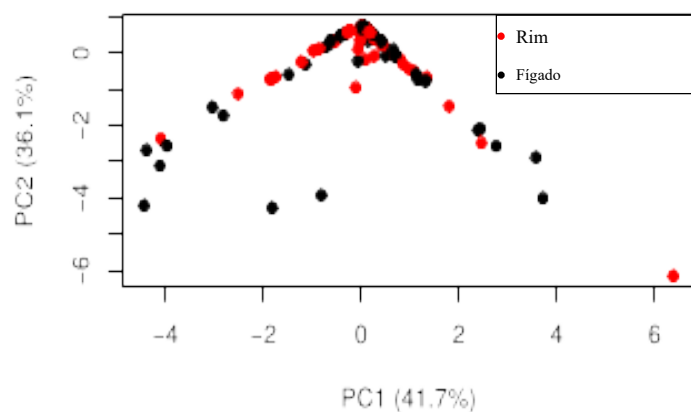
PCA por Habitat



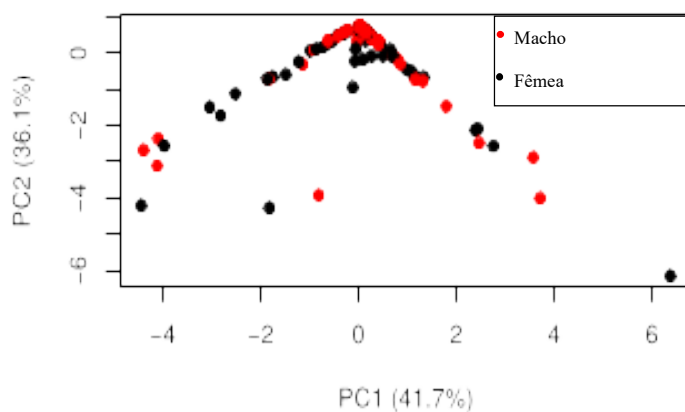
PCA por Localidade



PCA por Tecido



PCA por Sexo



**FIGURA 4.** PCA das concentrações de Cr, Ni, Pb e Cd ( $\mu\text{g/g}^{-1}$ ) por ordem, espécie, habitat, localidade, tecido e sexo.

**TABELA 9.** Testes de Correlação de Pearson significativos entre os metais pesados nos fígados e rins para *Didelphis albiventris* e *Mus musculus*. (Cd = cádmio; Ni = níquel; Cr = cromo; Pb = chumbo).

**Correlação entre metais pesados**

<i>Didelphis albiventris</i>	Cd ~ Ni	Pb ~ Cd	Pb ~ Cr	Pb ~ Ni	Cr ~ Cd	Cr ~ Ni
t	2.4002	-4.0864	3.9612	-1.5468	- 1.1145	- 0.74287
dF	13	37	42	16	27	6
p	<b>0.03207</b>	<b>0.0002259</b>	<b>0.0002831</b>	0.1415	0.2749	0.4856
Correlação de Pearson	0.5541361	-0.55764492	0.5215236	-0.360663	- 0.2097214	- 0.2902218
<i>Mus musculus</i>	Cd ~ Ni	Pb ~ Cd	Pb ~ Cr	Pb ~ Ni	Cr ~ Cd	Cr ~ Ni
t	2.6132	-0.2328	2.4204	3.4825	1.236	- 0.74287
dF	18	19	21	26	5	6
p	<b>0.0176</b>	0.8184	<b>0.02465</b>	<b>0.001773</b>	0.2714	0.8969
Correlação de Pearson	0.5244418	-0.05333183	0.4670311	0.3639935	0.4837634	0.05512005

O acúmulo de metais pesados em pequenos mamíferos ocorreu de forma independente à distância que se encontram da borda cana/mata e ao sexo (Cr, Cd, Ni e Pb:  $p \geq 0,05$ ). Em *Mus musculus* e *Didelphis albiventris*, a bioacumulação de metais pesados ocorreu de forma independente a distância que se encontram da borda cana/mata e ao sexo (Cr, Cd, Ni e Pb:  $p \geq 0,05$ ) (Figura 5 e 6), e em *Marmosa murina*, o acúmulo de chumbo ocorreu de forma dependente com a distância ( $p = 0.0689$ ), onde indivíduos mais próximos da borda apresentaram maiores concentrações de metais em seus tecidos, e independente em relação ao sexo (Figura 7) (Tabela 10). Está acumulação de metais pesados em indivíduos mais próximos à borda da mata, possivelmente se deve a forma na qual os agrotóxicos são aplicados. Em plantações de cana-de-açúcar, aplicação de agrotóxicos ocorre principalmente por meio da pulverização aérea. Neste tipo de aplicação, não só a área desejada é contaminada, mas também as áreas e os organismos em seu entorno, ocasionando em efeitos prejudiciais à saúde dos organismos, além de que quando ocorre contaminação dos solos ou das águas torna-se difícil sua recuperação (Domingues, 2010). Além disso, as áreas de estudos ocorrem próximo a rodovias federais e estaduais, que possuem um intenso tráfego e movimentação de veículos automotivos, liberando elevadas concentrações de inúmeros poluentes, entre eles, o chumbo (Brait *et al.*, 2009).



**TABELA 10.** ANOVA de concentrações de metais pesados em diferentes distâncias da borda (5, 100, 110, 160, 200, 220, 270, 300, 400, 900, 1000, 1100 m) em três espécies de pequenos mamíferos com tamanho da amostra > 3 (*Mus musculus*, *Marmosa murina* e *Didelphis albiventris*). (Cd = cádmio; Ni = níquel; Cr = cromo; Pb = chumbo).

<b>ANOVA: <i>Didelphis albiventris</i> ~ Distância da borda (m)</b>					
	<b>G.L</b>	<b>Soma Quad.</b>	<b>Quad. Méd</b>	<b>F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>[Ni]</b>					
Distância da borda (m)	1	4.3	4.274	0.161	0.694
Resíduos	16	425.3	26.579		
	<b>G.L</b>	<b>Soma Quad.</b>	<b>Quad. Méd</b>	<b>F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>[Cd]</b>					
Distância da borda (m)	1	3332	3332	1.454	0.235
Resíduos	37	84771	2291		
	<b>G.L</b>	<b>Soma Quad.</b>	<b>Quad. Méd</b>	<b>F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>[Pb]</b>					
Distância da borda (m)	1	1265	1265	0.194	0.662
Resíduos	54	352312	6524		
	<b>G.L</b>	<b>Soma Quad.</b>	<b>Quad. Méd</b>	<b>F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>[Cr]</b>					
Distância da borda (m)	1	1113	1113	0.404	0.529
Resíduos	42	115767	2756		
<b>ANOVA: <i>Mus musculus</i> ~ Distância da borda (m)</b>					
	<b>G.L</b>	<b>Soma Quad.</b>	<b>Quad. Méd</b>	<b>F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>[Ni]</b>					
Distância da borda (m)	1	1296	1296	0.672	0.42
Resíduos	26	50105	1927		
	<b>G.L</b>	<b>Soma Quad.</b>	<b>Quad. Méd</b>	<b>F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>[Cd]</b>					
Distância da borda (m)	1	3658	3658	0.041	0.842
Resíduos	19	1724388	90757		
	<b>G.L</b>	<b>Soma Quad.</b>	<b>Quad. Méd</b>	<b>F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>

[Pb]					
Distância da borda (m)	1	3386	3386	0.013	0.909
Resíduos	41	10605232	258664		
	G.L	Soma Quad.	Quad. Méd	F	Pr(>F)

[Cr]					
Distância da borda (m)	1	3057	3057	0.274	0.606
Resíduos	21	234398	11162		

**ANOVA: *Marmosa murina* ~ Distância da borda (m)**

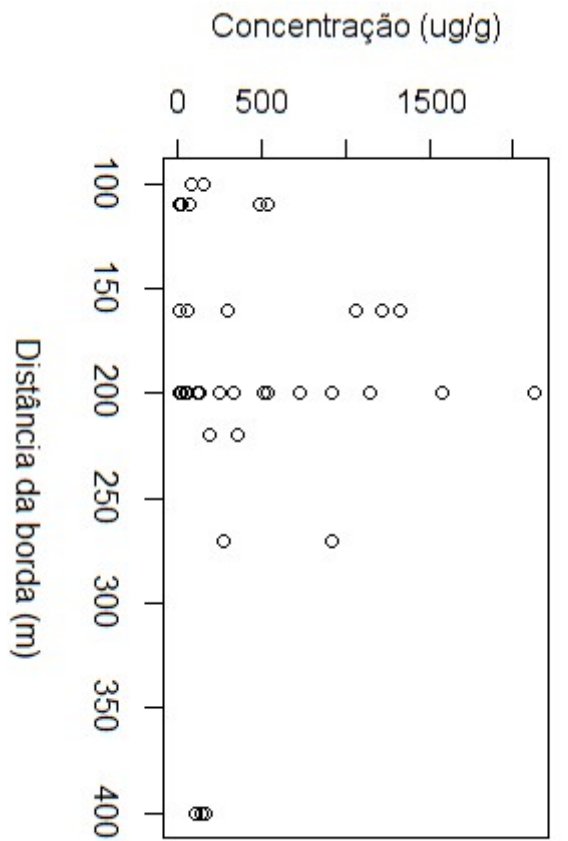
	G.L	Soma Quad.	Quad. Méd	F	Pr(>F)
[Ni]					
Distância da borda (m)	1	1.464	1.464	0.305	0.61
Resíduos	4	19.199	4.800		
	G.L	Soma Quad.	Quad. Méd	F	Pr(>F)

[Cd]					
Distância da borda (m)	1	1.117	1.117	0.589	0.454
Resíduos	16	30.365	1.898		
	G.L	Soma Quad.	Quad. Méd	F	Pr(>F)

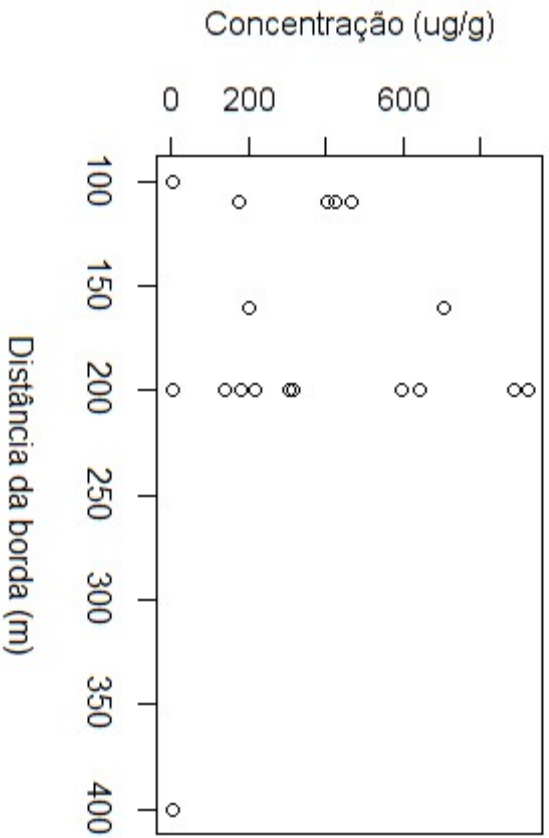
[Pb]					
Distância da borda (m)	1	9815	9815	3.6	<b>0.0689</b>
Resíduos	26	70883	2726		
	G.L	Soma Quad.	Quad. Méd	F	Pr(>F)

[Cr]					
Distância da borda (m)	1	2.57	2.566	0.293	0.594
Resíduos	22	192.87	8.767		

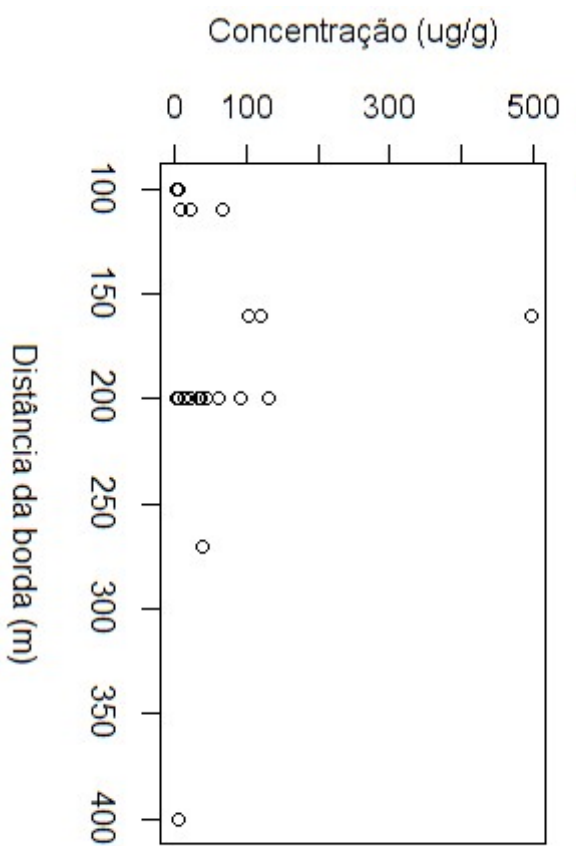
### [Pb] ~ distância da borda em *M. musculus*



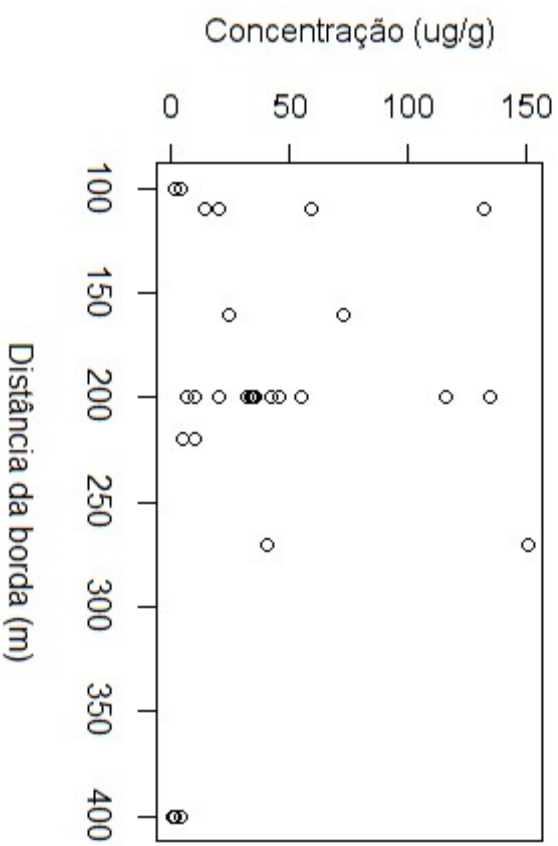
### [Cd] ~ distância da borda em *M. musculus*



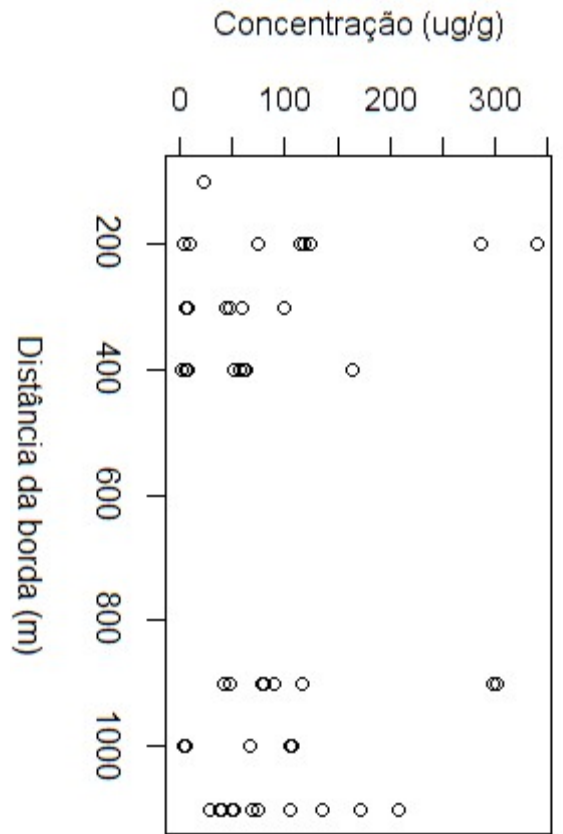
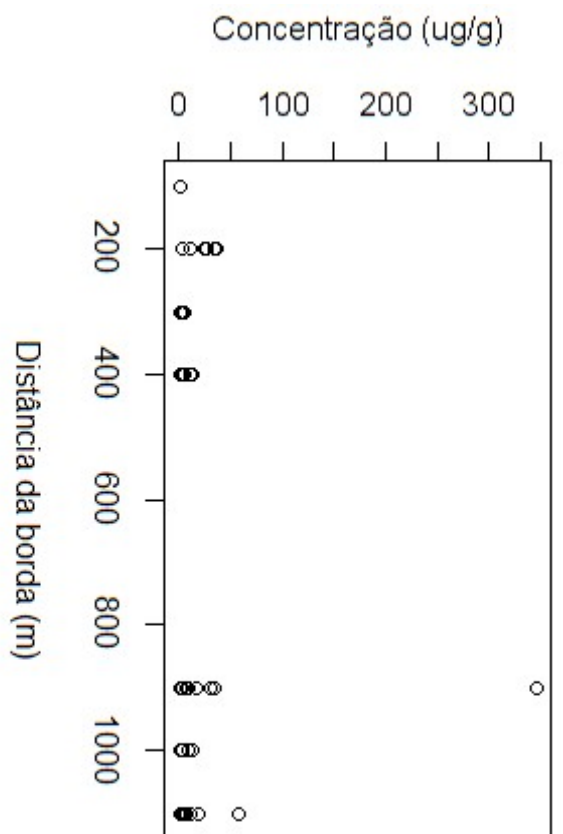
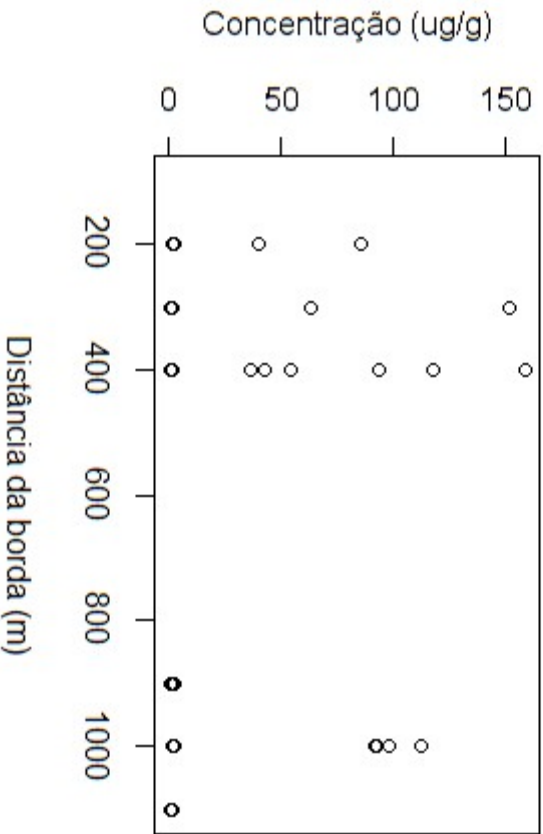
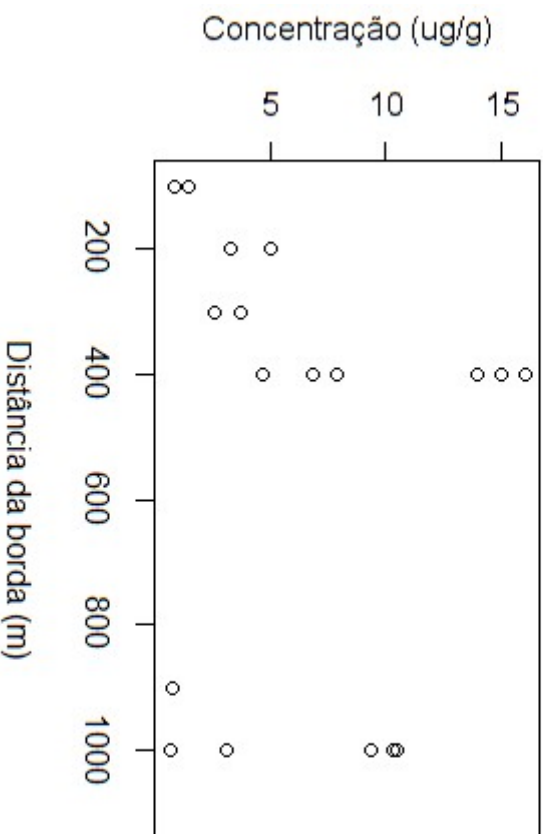
### [Cr] ~ distância da borda em *M. musculus*



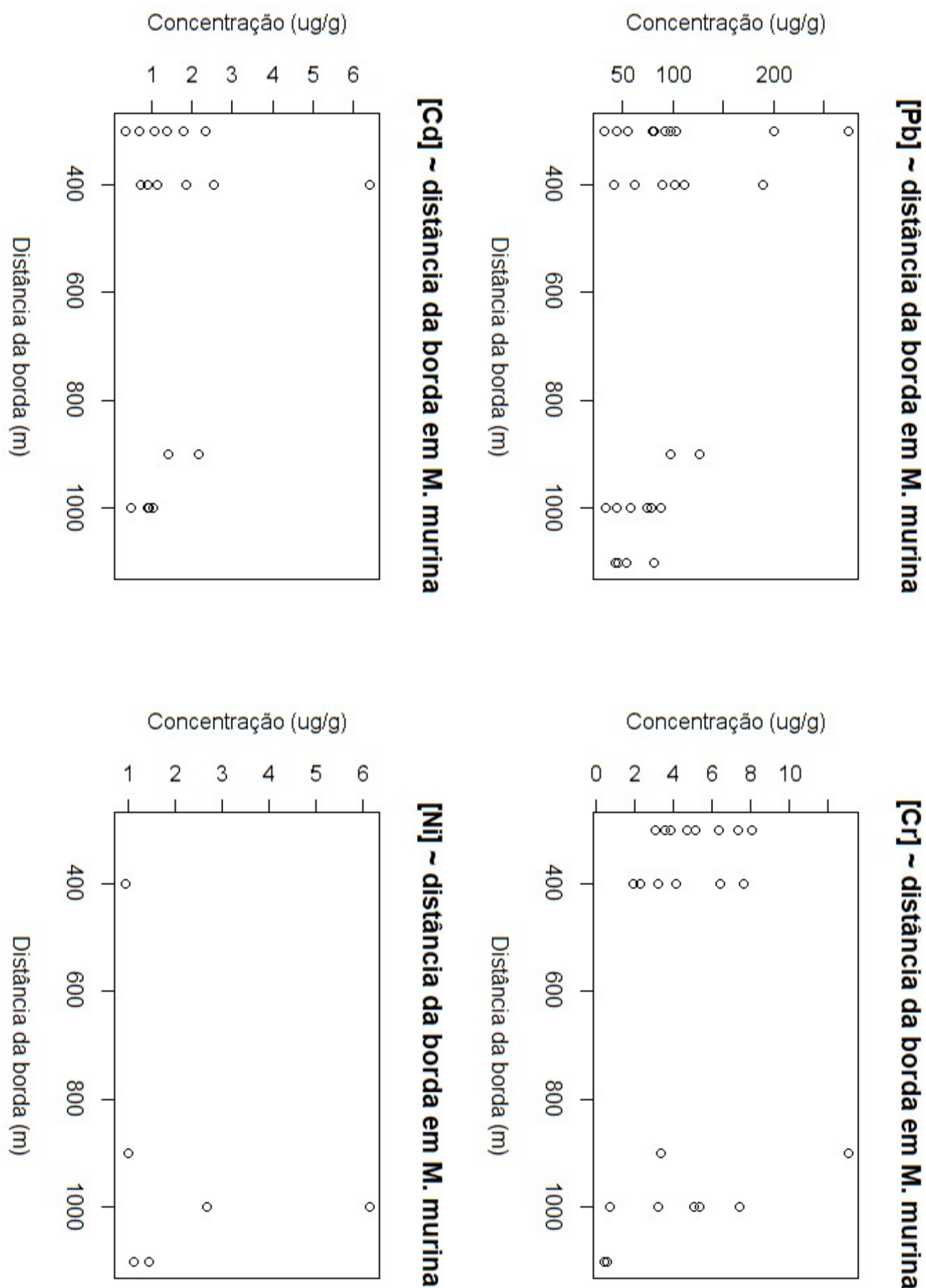
### [Ni] ~ distância da borda em *M. musculus*



**FIGURA 5.** Concentração de Pb, Cr, Cd e Ni ( $\mu\text{g/g}^{-1}$ ) em decorrência da distância da borda da mata/cana em *Mus musculus*. (Pb = 0.909; Cr = 0.606; Cd = 0.842; Ni = 0.42).

**[Pb] ~ distância da borda em *D. albiventris*****[Cr] ~ distância da borda em *D. albiventris*****[Cd] ~ distância da borda em *D. albiventris*****[Ni] ~ distância da borda em *D. albiventris***

**FIGURA 6.** Concentração de Pb, Cr, Cd e Ni ( $\mu\text{g/g}^{-1}$ ) em decorrência da distância da borda da mata/cana em *Didelphis albiventris*. (Pb = 0.662; Cr = 0.529; Cd = 0.235; Ni = 0.694).



**FIGURA 7.** Concentração de Pb, Cr, Cd e Ni ( $\mu\text{g/g}^{-1}$ ) em decorrência da distância da borda da mata/cana em *Marmosa murina*. (**Pb** = 0.0689; Cr = 0.594; Cd = 0.454; Ni = 0.61).

Deste modo, populações de pequenos mamíferos podem fornecer informações sobre características, quantidades e tipos de contaminantes presentes no ambiente, já que estes animais fornecem respostas mais rápido sobre os riscos que os humanos, além disso, os pequenos mamíferos aparentemente utilizam processos adaptativos, os quais os tornam capazes de tolerar esses compostos tóxicos num ambiente em constante mudança (Marques *et al.*, 2007, Medina *et al.*, 2007).

Portanto, embora nossos resultados mostrem que os animais estudados estejam em boas condições físicas, vale ressaltar que os níveis de contaminação apresentados podem ocasionar danos à saúde dessas espécies a longo prazo.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho caracterizou a bioacumulação de metais pesados em pequenos mamíferos provenientes de áreas de remanescentes florestais de Mata Atlântica e monocultura de cana-de-açúcar na Paraíba, Brasil, com o foco na análise da acumulação de cádmio, níquel, chumbo e cromo nos tecidos hepático e renal de marsupiais didelfídeos e roedores.

O chumbo foi o único metal detectado em todas as amostras dos espécimes capturados. Este metal apresentou elevadas concentrações em todas as espécies, independentemente do local que eram provenientes, tecido ou sexo, evidenciando assim que os locais de estudos e os animais, encontram-se extremamente contaminados. Houve uma maior bioacumulação de metais pesados nas áreas de monocultura de cana-de-açúcar, do que nas áreas de remanescentes de Mata Atlântica, evidenciando assim um nível mais elevado de contaminação nesta área, ou seja, encontra-se mais impactada, provavelmente devido as descargas de insumos agrícolas provenientes do uso de pesticidas e fertilizantes.

Pequenos mamíferos provenientes de ambos os locais apresentam concentrações de metais pesados em seus tecidos, evidenciando assim que ambos os locais de estudos encontram-se contaminados, exceto nos tecidos hepático e renal de marsupiais provenientes das áreas de cana-de-açúcar, não foi detectado concentrações de cádmio. Dentre as duas ordens analisadas, Didelphimorpha e Rodentia, os roedores (ordem Rodentia) foram os que apresentaram as maiores concentrações de metais pesados em seus tecidos. O tecido hepático, de maneira geral, foi o principal órgão acumulador de metais pesados em pequenos mamíferos.

O acúmulo de metais pesados em pequenos mamíferos ocorreu de forma independente à distância que se encontram da borda cana/mata e ao sexo, porém na espécie *Marmosa murina*, o acúmulo de chumbo ocorreu de forma dependente com a distância, onde indivíduos mais próximos

da borda apresentaram maiores concentrações de metais em seus tecidos, e independente em relação ao sexo.

Assim concluímos que, ambas as áreas de estudo encontram-se extremamente contaminadas por metais pesados e que embora os animais aqui estudados aparentem possuir boa condição corporal, vale ressaltar que os níveis de contaminação aqui apresentados podem ser capazes de causar danos à saúde destes a longo prazo, assim como nos seres humanos e no ecossistema de maneira geral. Além disso, não existem dados de sobre contaminação por metais pesados em pequenos mamíferos no estado da Paraíba ou de outras áreas no Brasil. Desta forma, tornando-se necessário a realização de mais estudos sobre a bioacumulação de contaminantes no geral em pequenos mamíferos no Brasil.

## 6. REFERÊNCIAS

- Alloway, B. J., Ayres, D. C. (1997) Chemical Principles of Environmental Pollution, 2 ed., Ed. Chapman & Hall, New York, p.291.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes Gonçalves, J. L., Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 22, No. 6, p.711–728.
- ATSDR. Agency for toxic substances and disease registry. Toxicological profile for nickel. Atlanta: ATSDR, 2005. 397p.
- Astúa de Moraes, D. Análise morfométrica do crânio e da mandíbula de marsupiais didelfídeos: Implicações ecológicas e funcionais. (1998). Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Astúa de Moraes, D., Santori, R.T., Finotti, R., Cerqueira, R. (2003). Nutritional and fibre contents of laboratory-established diets of neotropical opossums (Didelphidae). In: Jones, M. E., Dickman, C. R., *et al* (Ed.). Predators with pouches: The Biology of Carnivorous Marsupials. Collingwood: CSIRO Publishing, p. 221 – 237.
- Banks-Leite, C., Pardini, R., Tambosi, L. R., Pearse, W. D., Bueno, A. A., Bruscagin, R. T., Condez, T. H., Dixo, M., Igari, A. T., Martensen, A. C., Metzger, J. P (2014). Using ecological thresholds to evaluate the costs and benefits of set-asides in a biodiversity hotspot. Science, 341 (6200), 1041-1045.
- Barreto, C. G. (2013). Devastação e Proteção da Mata Atlântica nordestina: formação da paisagem e políticas ambientais. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, Brasília.



Barwick, M., Maher, W. (2003). Biotransference and biomagnification of selenium, cooper, cadmium, zinc, arsenic and lead in a temperate seagrass ecosystem from Lake Macquarie Estuary, NSW, Australia. *Marine Environmental Research*, Vol. 56, No. 4, p.471 – 502.

Bidstrup, P. L. (1951). Carcinoma of the Lung in Chromate Workers. *British Journal of Industrial Medicine*. Vol. 8, No. 4, pp. 302 – 305.

Bidstrup, P. L., Case, R. A. M. (1956). Carcinoma of the Lung in Workmen in The Bichromates-producing Industry in Great Britain. *British Journal of Industrial Medicine*. Vol. 13, No. 4, pp. 260 – 264.

Bovendorp, R. S., McCleery, R. A., Galetti, M. (2017). Optimising sampling methods for small mammal communities in Neotropical rainforests. *Mammal Review*, vol. 47, pp.148-158.

Bonvicino, C. R. (1989). Ecologia e comportamento de *Alouatta belzebul* (Primates: Cebidae) na Mata Atlântica. *Revista Nordestina de Biologia*, Vol. 6, No. 2, p. 149 – 179.

Bonvicino, C. R., Oliveira, J.A., D'Andrea, P.S. (2008). Guia dos Roedores do Brasil, com chaves para gêneros baseadas em caracteres externos. Centro Pan-Americano de Febre Aftosa - OPAS/OMS.

Burger, J., Marquez, M., Gochfeld, M. (1994). Heavy metals in the hair of opossum from Palo Verde, Costa Rica. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 27, No. 4, p.472 – 476.

Brait, Carlos Henrique Hoff; Antoniosi filho, Nelson Roberto and Furtado, Mariana Malzoni. (2009). Utilization of wild animal hair for the environmental monitoring of Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn. *Quím. Nova*. 2009, vol.32, n.6, pp.1384-1388.

Brewer, S. W., Rejmánek, M. (1999). Small rodents as significant dispersers of tree seeds in a Neotropical forest. *Journal of Vegetation Science*, Vol. 10, No. 2, p.165–174.

Cáceres, N. C. (2004). Diet of three didelphid marsupials (Mammalia, Didelphimorphia) in southern Brazil. *Mammalian Biology - Zeitschrift Für Säugetierkunde*, Vol. 69, No. 6, p.430–433.

Callender, R. (2004). *Treatise on geochemistry – vol. 9: environmental geochemistry*, chap. 9.03 “Heavy metals in the environment – Historical Trends”. Elsevier Pergamon, 67 – 105.

Cadernatori, C. V., Marques, R. V., Pacheco, S. M. (2008). Estratificação vertical no uso do espaço por pequenos mamíferos (Rodentia, Sigmodontinae) em área de Floresta Ombrófila Mista, RS, Brasil. *Revista Brasileira de Zoociências*. Juiz de Fora, Vol. 10, No. 3, p.189-196.

Carvalho Neto, F. G. de. (2013). Ecologia, assimetria flutuante e dimorfismo sexual em pequenos mamíferos em remanescentes de floresta atlântica do nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Saúde Humana e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Pernambuco, Vitória de Santo Antão, Pernambuco.

Casella, J. (2006). Dieta e frugivoria por marsupiais didelfídeos em uma floresta estacional semidecidual no Parque Nacional do Iguaçu, Paraná, Brasil. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo grande.

Colgan, W., Claridge, A. W. (2002). Mycorrhizal effectiveness of *Rhizopogon* spores recovered from fecal pellets of small forest-dwelling mammals. *Mycological Research*, Vol. 106, No. 3, p.314–320.

Curi, N. H. de A., Brait, C. H. H., Filho, N. R. A., Talamoni, S. A. (2011). Heavy Metals in Hair of Wild Canids from the Brazilian Cerrado. *Biological Trace Element Research*, 147(1-3), p.97–102.

Cruz, M. A. O. M., Campello, M. L. C. B. (1998). Mastofauna: Primeira lista e um estudo sobre o *Callithrix jacchus* Erxleben, 1777 (Callitrichidae: Primates) na Reserva Ecológica de Dois Irmãos. In: Machado, I. C., Lopes, A. V., Porto, K. C. (Eds.). *Reserva de Dois Irmãos: Estudos de um remanescente de Mata Atlântica em área urbana (Recife – Pernambuco – Brasil)*. Ed. Universitária da UFPE.

Dias, N. M. P., Alleoni, L. R. F., Casagrande, J. C., & Camargo, O. A. (2001). Adsorção de cádmio em dois Latossolos ácricos e um Nitossolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 297-304.

Domingues, El. (2010). Sistema de Informação Geográfica e a Contaminação de Agrotóxicos no Meio Ambiente da Cana-de-Açúcar na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo – SP/MG. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo.

Duffus, JH. (2002). “Heavy Metals” – A Meaningless Term?. *Pure and Applied Chemistry* 2002; 74:793-807.

Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, Vol. 34, p. 487 – 515.

Fleischer, M., Sarofim, A. F., Fassett, D. W., Hammond, P., Shacklette, H. T., Nisbet, I. C., & Epstein, S. (1974). Environmental impact of cadmium: a review by the Panel on Hazardous Trace Substances. *Environmental Health Perspectives*, 7, 253–323.

Fonseca, G. A. B., Herrmann, G., Leite, Y. L. R., Mittermeier, R. A., Rylands, A. B., Patton, J. L. (1996). Lista anotada dos mamíferos do Brasil. *Occasional papers in conservation biology*. Vol. 4, p.1-38.

Fundação SOS Mata Atlântica. (2017). INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, período 2015 – 2016. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Gardner, A. L. (2008). *Mammals of South America*. Vol. 1: Marsupials, Xenarthrans, Shrews, and Bats. University of Chicago Press.

Gimeno-García, E., Andreu, V., & Boluda, R. (1996). Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. *Environmental Pollution*, Vol. 92, p.19–25.

Giuffréde López Carnelo, L., de Miguez, S. R., & Marbán, L. (1997). Heavy metals input with phosphate fertilizers used in Argentina. *Science of The Total Environment*, Vol. 204, No. 3, p.245–250.

Gunther, W. M. R. Contaminação ambiental por disposição inadequada de resíduos industriais contendo metais pesados – estudo de caso. 1998. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Gray, J. S. (2002). Biomagnification in marine systems: the perspective of an ecologist. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 45, p. 46 – 52.

Grelle, C. E. V., Garcia, Q. S. (1999). Potential dispersal of *Cecropia hololeuca* by the common opossum (*Didelphis aurita*) in Atlantic forest, southeastern Brazil. *Revue d'Ecologie Terre et Vie*, Vol. 54, No. 4, p.327 – 332.

Henn, C. (2009). Seleção de Linhagens de Basidiomicetos Resistentes aos Herbicidas Atrazina e Diuron – Produção de Enzimas Ligninolíticas e Degradação dos Compostos. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.

Homady M., Hussein H., Jiries A., Mahasneh A., Al-Nasir F., and Khleifat K. (2002). Survey of some heavy metals in sediments from vehicular service stations in Jordan and their effects on social aggression in prepubertal male mice. *Environmental Research Section A* 89, 43 – 49.

Hunter, B. A., Johnson, M. S., Thompson, D. J. (1987). Ecotoxicology of Copper and Cadmium in a Contaminated Grassland Ecosystem. II. Invertebrates. *The Journal of Applied Ecology*, Vol. 24, No. 2, p. 587 – 599.

Ikeda, M., Zhang, Z.-W., Moon, C.-S., Shimbo, S., Watanabe, T., Nakatsuka, H., Matsuda-Inoguchi, N., Higashikawa, K. (2000). Possible effects of environmental cadmium exposure on kidney function in the Japanese general population. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 73(1), 15–25.

Janos, D. P., Sahley, C. T., Emmons, L. H. (1995). Rodent Dispersal of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Amazonian Peru. *Ecology*, Vol. 76, No. 6, p. 1852–1858.

Jakob, E. M., Marshall, S. D., Uetz, G. W. (1996). Estimating Fitness: A Comparison of Body Condition Indices. *Oikos*, Vol. 77, p.61 – 67.

Joly, C. A., Metzger, J. P., Tabarelli, M. (2014). Experiencias from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. *New Phytologist*, Vol. 204, p. 459 – 473.

Ju, X. T., Kou, C. L., Christie, P., Dou, Z. X., & Zhang, F. S. (2007). Changes in the soil environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting intensive cropping systems on the North China Plain. *Environmental Pollution*, Vol. 145, No. 2, p.497–506.

Klaassen, C. D., Watkins, J. (1999). Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons. 5.ed. USA: McGraw-Hill 861 p.

Klaassen, C. D. 2001. Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons; 6.ed., USA: McGraw-Hill 1275 p.

Klein, C., & Costa, M. (2007). Nickel. In: Nordberg, G. F, Fowler, B. A, Nordberg, M., Friberg, L. T. Haandbookon the Toxicology of Metals. [s.l]: Academic Press; 2007. Chap. 35, p. 743–758.

Kira, C. S. Determinação de valores de referência para chumbo, cádmio, mercúrio e níquel em sangue de adultos e crianças da cidade de São Paulo. 2014. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Komarnicki, G. J. K. (2000). Tissue, sex and age specific accumulation of heavy metals (Zn, Cu, Pb, Cd) by populations of the mole (*Talpa europaea* L.) in a central urban area. *Chemosphere*, Vol. 41, No. 10, p.1593–1602.

Kuva, M. A., Pitelli, R. A., Christoffoleti, P. J., Alves, P. L. C. A. (2000). Períodos de Interferência das Plantas Daninhas na Cultura da Cana-de-açúcar. I – Tiririca. *Planta Daninha*, v. 18, n. 2.

Kuva, M. A., Gravena, R., Pitelli, R. A., Christoffoleti, P. J., Alves, P. L. C. A. (2003). Períodos de Interferência das Plantas Daninhas na Cultura da Cana-de-açúcar. III– Capim-Braquiara (*Brachiaria decumbens*) e Capim-Colonião (*Panicum maximum*). Planta Daninha, Viçosa-MG, v.21, n.1, p.37-44.

Laneiro, C. F. M. (2012). Avaliação da biodisponibilidade de metais em solos contaminados por atividades mineiras: métodos químicos, bioquímicos e ecotoxicológicos. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Instituto Politécnico de Beja, Escola Superior Agrária, Beja.

Lopes, A. M. A. L. (2009). Avaliação do risco de contaminação ambiental utilizando como bioindicador o ratinho caseiro (*Mus musculus*). Dissertação (Mestrado em Biologia Humana e Ambiente) – Departamento de Biologia Animal, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal.

Ma, W. (1989). Effect of soil pollution with metallic lead pellets on lead bioaccumulation and organ/body weight alterations in small mammals. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, Vol. 18, No. 4, p. 617–622.

Ma, W., Denneman, W., & Faber, J. (1991). Hazardous exposure of ground-living small mammals to cadmium and lead in contaminated terrestrial ecosystems. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, Vol. 20, No. 2, p.266–270.

Malik, A., 2004. Metal bioremediation through growing cells. Environment International 30 (2), 21 – 278.

Mangan, S. A., Adler, G. H. (2000). Consumption of arbuscular mycorrhizal fungi by terrestrial and arboreal small mammals in a panamanian cloud forest. Journal of Mammalogy, Vol. 81, No. 2, p. 563 – 570.

Marcheselli, M., Sala, L., Mauri, M. (2010). Bioaccumulation of PGEs and other traffic-related metals in populations of the small mammal *Apodemus sylvaticus*. Chemosphere 80 (2010) 1247–1254.

Marques, C. C., Sánchez-Chardi, A., Gabriel, S. I., Nadal, J., Viegas-Crespo, A. M., Luz Mathias, M. (2007). How does the greater white-toothed shrew, *Crocidura russula*, responds to long-term heavy metal contamination? – A case study. *Science of The Total Environment*, 376 (1 – 3), p. 128 – 133.

Medina, M. H., Correa, J. A., Barata, C. (2007). Micro-evolution due to pollution: Possible consequences for ecosystem responses to toxic stress. *Chemosphere*, Vol. 67, No. 11, p. 2105 – 2114.

Milton, A., Cooke, J. A., Johnson, M. S. (2003). Accumulation of Lead, Zinc, and Cadmium in a Wild Population of *Clethrionomys glareolus* from an Abandoned Lead Mine. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol.44, No.3, p.405–411.

Nascimento, C. W. A., Pereira, J. B. M. (1997). Uptake and distribution of cadmium and micronutrients by bean cultivars exposed to cadmium levels. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 32, n. 12, p. 1303 – 1308.

Nordberg, G. F., Fowler, B. A., Nordberg, M., and Friberg, L. T. (2007). Introduction – General Considerations and International Perspectives. In: Nordberg G.F, Fowler B.A, Nordberg M., Friberg L. eds. *Handbook on the toxicology of metals*, third edition, Amsterdam: Elsevier Holland, p. 1 – 9.

Novotny, V. (1995). Diffuse Sources of Pollution by Toxic Metals and Impact on Receiving Waters. *Heavy Metals*, 33–52.

Norseth, T. (1981). The carcinogenicity of chromium. *Environmental Health Perspectives*, 40, 121–130.

Nriagu, J.. O. (1990). Global Metal Pollution: Poisoning the Biosphere? *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, Vol. 32, No. 7, p.7 – 33.

Nunes, A. C., da Luz Mathias, M., Crespo, A. M. (2001). Morphological and haematological parameters in the Algerian mouse (*Mus spretus*) inhabiting an area contaminated with heavy metals. *Environmental Pollution*, Vol. 113, p. 87–93.

Oliveira, J. P. In: Azevedo, F. A., Chasin, A. M. *Metais: gerenciamento da toxicidade*. São Paulo: Editora Atheneu; 2003. Cap. 5, p. 127 – 142.

Oliveira E, Maggi MF, Matos E, Ramos M S, Vagner M W, Lopes EC. 2009. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas e relações com riscos de contaminação da água e do solo. *Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia*. 2: 161-180.

Paglia, A. P., da Fonseca, G. A. B., Rylands, A. B., Hermann, G., Aguiar, L. M. S., Chiarello, A. G., Leite, Y. L. R., Costa, L. P., Siciliano, S., Kierulff, M. C. M., Mendes, S. L., Tavares, V. C., Mittermeier, R. A., Patto, J. L. (2012). Lista anotada dos mamíferos do Brasil 2ª Edição Annotated checklist of Brazilian mammals. *Occasional Papers in Conservation Biology*, nº 6.

Pankakoski, E., Hyvärinen, H., Jalkanen, M., Koivisto, I. (1993). Accumulation of heavy metals in the mole in Finland. *Environmental Pollution*, Vol. 80, p. 9–16.

Paoliello, M. M. B., De Capitani, E. M. In: Azevedo, F. A., Chasin, A. M. *Metais: gerenciamento da toxicidade*. São Paulo: Editora Atheneu; 2003. Cap. 12, p. 353 – 398.

Pardini, R., Umetsu, F. (2006). Pequenos mamíferos não-voadores da Reserva Florestal do Morro Grande: distribuição das espécies e da diversidade em uma área de Mata Atlântica. *Biota Neotropica*, Vol. 6, No. 2.

Pereira, L. G., Geise, L. (2007). Karyotype composition of some rodents and marsupials from Chapada Diamantina (Bahia, Brazil). *Braz. J. Biol.* Vol. 67, No. 3, p.509- 518.

Pereira, R., Pereira, M. L, Ribeiro, R., Gonçalves, F.(2006). Tissues and hair residues and histopathology in wild rats (*Rattus rattus* L.) and Algerian mice (*Mus spretus* Lataste) from an abandoned mine area (Southeast Portugal). *Environmental Pollution* 139 (2006) 561 – 575.



Phillips, D. J. H. (1977). The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments – a review. *Environ. Pollut.* (13) (1977).

Pimentel, D. S., Tabarelli, M. (2004). Seed Dispersal of the Palm *Attalea oleifera* in a Remnant of the Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica*, Vol. 36, No. 1, p.74–84.

Pizo, M.A. (1997). Seed dispersal and predation in two populations of *cabralea canjerana* (Meliaceae) in the Atlantic Forest of southeastern Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, Vol. 13, p. 559–578.

Prasad, M. N. V., 1995. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environmental and Experimental Botany*, 35 (4), 525 – 545.

Queiroz, M. T. A. (2006). Bioacumulação de metais pesados no rio Piracicaba, Minas Gerais, aplicado a análise por ativação neutrônica instrumental. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Coronel Fabriciano, Minas Gerais.

Ramm, C. B. Contaminação por metais nas capivaras *Hydrochaeris hydrochaeris* no Sul do Brasil. 2015. Dissertação (Mestrado em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

Rashed, M. N., Soltan, M. E. (2005). Animal hair as biological indicator for heavy metal pollution in urban and rural areas. *Environmental Monitoring and Assessment* (2005) 110: 41–53.

Reeves, P. G., & Chaney, R. L. (2008). Bioavailability as an Issue in Risk Assessment and Management of Food Cadmium: A review. *Science of The Total Environment*, 398 (1 – 3), 13-19.

Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J., Hirota, M. M. (2009). The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, Vol. 142, No. 6, p. 1141 – 1153.

Roman, T. R. N., Lima, E. G., Azoubel, R., Batigália, F., 2002. Toxicidade do Cádmio no Homem. HB Científica 9 (1), 43 – 48.

Rojas, E., Herrera, L. A., Poirier, L. A., & Ostrosky-Wegman, P. (1999). Are metals dietary carcinogens? Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 443(1-2), 157–181.

Rubio, C., Hardisson, A., Reguera, J. I., Revert, C., Lafuente, M. A., González-Iglesias, T. (2006). Cadmium Dietary Intake in the Canary Islands, Spain. Environmental Research, 100 (1), 123 – 129.

Sadão, M. (2002). Intoxicação por chumbo. Revista de Toxicologia. p. 37 – 42.

Sánchez-Chardi, A., Marques, C. C., Gabriel, S. I., Capela-Silva, F., Cabrita, A. S., López-Fuster, M. J., Nadal, J., Mathias, M. L. (2008). Haematology, genotoxicity, enzymatic activity and histopathology as biomarkers of metal pollution in the shrew *Crocidura russula*. Environmental Pollution, Vol. 156, No. 3, p. 1332–1339.

Sánchez-Chardi, A., Nadal, J. (2007). Bioaccumulation of metals and effects of landfill pollution in small mammals. Part I. The greater white-toothed shrew, *Crocidura russula*. Chemosphere, Vol. 68, No. 4, p. 703–711.

Sánchez-Chardi, A., Peñarroja-Matutano, C., Ribeiro, C. A. O., Nadal, J. (2007). Bioaccumulation of metals and effects of landfill pollution in small mammals. Part II. The wood mouse, *Apodemus sylvaticus*. Chemosphere, Vol. 70, p. 101–109.

Sánchez-Cordero, V., Martinez-Gallardo, R. (1998). Postdispersal fruit and seed removal by forestdwelling rodents in a lowland rainforest in México. J. Trop. Ecol. Vol. 14, No. 2, p.139-151.

Santos, A. M. M. (2006). Flora do Centro de Endemismo Pernambuco: Biogeografia e Conservação. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco.

Santos, A. C. A. (2013). Padrão de forrageamento de *Cebus flavius* (Schreber, 1774) (Primates: Cebidae), em um fragmento de Mata Atlântica na Paraíba. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão.

Sheffield, S.R., Sawicka-Kupusta, K., Cohen, J.B., and Rattner, B.A.(2001). Rodentia and lagomorpha. In: Ecotoxicology of Wild Mammals. John Wiley & Sons, pp.215 – 314.

Simmons, R. W., Pongsakul, P., Saiyasitpanich, D., & Klinphoklap, S. (2005). Elevated Levels of Cadmium and Zinc in Paddy Soils and Elevated Levels of Cadmium in Rice Grain Downstream of a Zinc Mineralized Area in Thailand: Implications for Public Health. Environmental Geochemistry and Health, 27(5-6), 501–511.

Simmonds, P. L., Luckhurst, C. L., Woods, J. S. (1995). Quantitative evaluation of heme biosynthetic pathway parameters as biomarkers of low-level lead exposure in rats. Journal of Toxicology and Environmental Health, Vol. 44, No. 3, p.351–367.

Silva, J. M. C.; Tabarelli, M. (2001) The Future of the Atlantic Forest in Northeastern Brazil. Conservation Biology, 15 (4): 819-820.

Silva, C. S. (2001). Níquel. Balanço mineral brasileiro, DNPM. 18p.

Spadotto, C. A., Moraes, D. A. de C., Ballarin, A. W., Filho, J. L., Colenci, R. A. (2010). Araquá: software para avaliação de risco ambiental de agrotóxico. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite.

Stansley, W., Roscoe, D. E. (1996). The uptake and effects of lead in small mammals and frogs at a trap and skeet range. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, Vol. 30, No. 2, p.220–226.

Swiergosz-Kowalewska, R. (2001). Cadmium distribution and toxicity in tissues of small rodents. Microscopy Research and Technique, Vol. 55, No.3, p.208–222.

Tabarelli, M.; de Aguiar, A. V; Grillo, A.; Santos, A. (2006) Fragmentação e Perda de Habitats na Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco. In: Fragmentos de Mata Atlântica do Nordeste: biodiversidade, conservação e suas bromélias. 1 ed. Rio de Janeiro: Andrea Jacobsson Estúdio Editorial Ltda, p. 80-99.

Talmage S. S., Walton B. T. (1991). Small mammals as monitors of environmental contaminants. In: Reviews of environmental contamination and toxicology. Rev Environ Contam T 119: 47-145.

Torres, J., Peig, J., Eira, C., Borrás, M. (2006). Cadmium and lead concentrations in *Skrjabinotaenia lobata* (Cestoda: Catenotaeniidae) and in its host, *Apodemus sylvaticus* (Rodentia: Muridae) in the urban dumping site of Garraf (Spain). Environmental pollution, Vol. 143, p. 4 – 8.

Viegas-Crespo, A. M., Lopes, P. A., Pinheiro, M. T., Santos, M. C., Rodrigues, P. D., Nunes, A. C., Marques, C., Mathias, M. L. (2003). Hepatic elemental contents and antioxidant enzyme activities in Algerian mice (*Mus spretus*) inhabiting a mine area in central Portugal. Science of The Total Environment, Vol. 311, Issues 1-3, p. 101–109.

Vieria, M. F., de Carvalho-Okano, R. M., Sazima, M. (1991). The common opossum, *Didelphis marsupialis*, as a pollinator of *Mabea fistulifera* (Euphorbiaceae). Ciência and Cultura, vol. 43, pp. 390–393.

Vieira, M. V., Olifiers, N., Delciellos, A. C., Antunes, V. Z., Bernardo, L. R., Grelle, C. E. V., Cerqueira, R. (2009). Land use vs. fragment size and isolation as determinants of small mammal composition and richness in Atlantic Forest remnants. Biological Conservation, Vol. 142, No. 6, p. 1191 – 1200.

Vieira, E. M., Pizo, M. A., Izar, P. (2003). Fruit and seed exploitation by small rodents of the Brazilian Atlantic forest. Mammalia, Vol. 67, No. 4, p. 533–539.

Vieira, E. M., Izar, P. (1999). Interactions between aroids and arboreal mammals in the Brazilian Atlantic rainforest. Plant ecology, No.145, p.75–82.

Veloso, H. P.; Rangel-Filho, A. L. R.; Lima, J. C. A. (1991). Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.

Waalkes, M. P. (2000). Cadmium carcinogenesis in review. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 79 (1 – 4), 241 – 244.

Wang, E. (2002). Diets of Ocelots (*Leopardus pardalis*), Margays (*L. wiedii*), and Oncillas (*L. tigrinus*) in the Atlantic Rainforest in Southeast Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, Vol. 37, No. 3, p.207–212.

Wang, W. (2002). Interactions of trace metals and different marine food chains. *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 243, p. 295 – 309.

World Health Organization. Chromium. Environmental health criteria 61: inorganic chromium. In: IPCS (International Programme on Chemical Safety). Geneva: WHO; 1988.

World Health Organization. Nickel. Environmental health criteria 108: inorganic nickel. In: IPCS (International Programme on Chemical Safety). Geneva: WHO; 1991.

World Health Organization. Lead. Environmental health criteria 165: inorganic lead. In: IPCS (International Programme on Chemical Safety). Geneva: WHO; 1995.